

UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ms. Juan Marcus Schwenk

**“COMPARACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO Y
MADERA SÓLIDA CONTRALAMINDA”**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el

Título de Ingeniero Civil

María Paz Jara Ruiz

Concepción, Junio 2015

Dedicatoria:

Este proyecto está dedicado a dos grandes personas; mis padres, por las palabras de aliento de cada día (y noches de estudio), su fuerza, su perseverancia, su cuota de alegría frente a la adversidad. Porque me enseñaron que frente a lo tormentoso que la vida puede volverse, siempre existe una forma de descubrir la luz en la oscuridad y esto se gana con esfuerzo, dedicación y ganas de ser mejor cada día, simplemente gracias.

Agradecimientos:

En primer lugar deseo expresar mi agradecimiento a mi profesor guía Ms. Juan Marcus Schwenk, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas.

Gracias a mis hermanos, que me apoyaron en todo momento, que creyeron siempre en mí y me dieron la fuerza para continuar cuando las cosas fueron difíciles. Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de esta larga estadía en la universidad, con los que además compartí gratos e inolvidables momentos, en los que las risas, el compañerismo y la solidaridad fueron predominantes, gracias a cada uno de ellos.

Sobre todo, gracias a Gio, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por sus consejos y guía frente a esta etapa final de mi vida universitaria. Gracias por el amor entregado cada día, por todo esto y más este trabajo también es tuyo.

Muchas Gracias Todos.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	2
1.- INTRODUCCIÓN.	3
1.1- Identificación y justificación del problema.	4
1.2- Objetivos de la investigación.	5
1.2.1- Objetivo general:	5
1.2.2- Objetivos específicos:	5
2.- FUNDAMENTOS DEL ESTUDIO.	6
2.1.- Ciclo del Carbono y la Radiación Neta.	6
a) Ciclo del Carbono	6
b) Radiación Neta	8
2.2.- Huella de Carbono (Footprint).	10
2.2.1.- Enfoques de la Huella de Carbono.	10
a) Metodologías específicas de mayor uso a nivel mundial.....	10
2.2.2.- Alcances.....	12
2.3.- Análisis de Ciclo de Vida	13
2.3.1.- Definición de Alcance y Objetivos.	14
a) Inventario de ciclo de vida (ICV).	14
b) Evaluación de impactos de ciclo de vida (EICV).	15
c) Interpretación del ciclo de vida	15
d) Análisis de ciclo de vida en la construcción	16
2.4.- Ventajas de la madera como material constructivo.....	18
2.4.1.- Captura de Carbono	19
2.4.2.- Los bosques gestionados de manera sostenible	20

3.- METODOLOGÍA.....	22
3.1.- Cálculo de Huella de Carbono aplicada a Edificaciones.	23
3.1.1.- Caso de estructura de cuatro pisos, de madera sólida contralaminada (CLT).....	25
a) Factor de emisión del CLT.	25
3.1.2.- Caso de estructura de cuatro pisos, de hormigón armado.	28
a) Factor de emisión del Hormigón.....	28
a) Factor de emisión del Acero	32
4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.	35
4.1.- Estructuras de Madera Sólida Contralaminada.....	35
4.2.- Estructuras de Hormigón Armado.....	36
4.3.- Análisis comparativo.	37
4.3.1.-Descripción por Etapas	37
a) Fundaciones, escala, equipos.....	37
b) Muros, Pilares y Losas	39
4.3.2.- Resultados Totales.....	40
5.- CONCLUSIONES.....	41
6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
7.- ANEXOS.....	45
7.1.- Anexos teóricos del estudio.....	45
7.1.1.-Origen de la Huella de Carbono.....	45
7.1.2.-Beneficios de la Huella de Carbono.....	45
7.1.3.- Huella de Carbono en Chile.	46
7.1.4.- Casos en Chile.....	47
7.1.5.- Exportación en Chile.....	48
7.1.6.- Las emisiones de GEI en Chile.	49
7.1.7.- Medidas para Mitigar las Emisiones.....	50
7.1.8- El efecto invernadero.	51

7.1.9.- Gases con efecto invernadero.	52
7.1.10.- Descripción de los principales gases que producen efecto invernadero.	53
7.1.11.- Aumento de la concentración de gases con efecto invernadero.	58
2.2.4.- Cambio climático.	59
7.1.11.- Consecuencias del cambio climático	60
1. Cálculos Edificio de Hormigón Armado	62
2. Cálculos edificio de Madera Sólida Contralaminada.	62
3. Planos Estructura Tipo.....	63
4. Cantidad de viviendas construidas en el país durante los años 2013-2014 (Fuente: Cámara Chilena de Construcción)	66

PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO Y MADERA SÓLIDA CONTRALAMINADA

Autor: María Paz Jara Ruiz

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío.

p.jararuiz@gmail.com

Profesor Patrocinante: Ms. Juan Marcus Schwenk

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío.

Resumen

Bajo la necesidad de realizar mediciones de huella de carbono como indicador medioambiental para la construcción de edificaciones, se desarrolla un método que estudia el proceso constructivo de la obra gruesa en un edificio de cuatro pisos de hormigón armado y uno de madera sólida contralaminada, ambos por separado. Dicho método se basa en varias normas nacionales e internacionales de medición de huella de carbono, además de acuerdos internacionales.

Es así como mediante el estudio al proceso de elaboración de un determinado material, se obtiene un factor de emisión de toneladas de CO₂. Con dicho factor y una cubicación de materiales de un edificio tipo, es posible estimar un valor aproximado de toneladas emitidas en el proceso de construcción de un edificio tipo.

Palabras claves: Procedimiento, evaluar, huella de carbono, edificaciones, CLT, cambio climático.

Palabras=7.602 palabras+250*8 Fig. =9.602 Palabras

METHOD TO EVALUATE CARBON FOOTPRINT IN THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS OF ARMED CONCRETE AND SOLID COUNTER LAMINATED WOOD

Author: María Paz Jara Ruiz

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío.

p.jararui@gmail.com

Advisor: Ms. Juan Marcus Schwenk

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío.

Abstract.

Under the need for measurements of carbon footprint as an environmental indicator for the construction of buildings, a method that studies the construction process of structural work on a building of four reinforced concrete plants and one cross laminated timber (CLT) , both separately develops. This method is based on several national and international standards for measuring carbon footprint as well as international agreements.

Thus, by studying the process of development of a given material , an emission factor tons of CO₂ is obtained. With such a scaling factor and a type of building materials , it is possible to estimate an approximate value of tons emitted in the process of construction of a building type.

Keywords: Evaluate, footprint, buildings, CLT, Global warming.

1.- INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas, han surgido importantes desafíos ambientales para la humanidad y la manera en que habita el planeta. El hombre tiene una responsabilidad indiscutible ante el cambio climático. La mayor parte del alza de la temperatura registrada desde mediados del Siglo XX es atribuible al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera originados por actividades humanas, tales como la quema de combustible fósiles, la deforestación y la agricultura.

La huella de carbono nace como una necesidad de cuantificar y generar un indicador del impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático.

En este contexto, incluir una medición de huella de carbono en el rubro de la construcción cobra especial importancia como desafío ecológico en el siglo XXI. Ya que se calcula que para el año 2050, debido al aumento de la población mundial, habrá una demanda de treinta mil millones de viviendas y su fabricación tendrá un impacto ambiental considerable. (Green, 2012).

1.1- Identificación y justificación del problema.

En Chile, medir huella de carbono es parte de la agenda de sectores exportadores como el minero, pesquero, agroindustrial y forestal. Sin embargo no ha sido abordado con la debida importancia en el rubro de la construcción.

El proceso para medir huella de carbono, posee distintos enfoques y alcances. Con el objetivo de establecer una herramienta que facilite su medición, este estudio establece una metodología para medir huella de carbono específicamente en edificaciones de mediana altura, considerando sólo su obra gruesa. A fin de establecer un análisis comparativo de impacto ambiental se considera la obra gruesa de dos tipos de edificios, uno de hormigón armado y otro de madera sólida contralaminada (CLT).

Esto permitirá que las empresas que se desempeñan en este rubro, cuenten con una herramienta que les permita determinar una propuesta de diseño no solo en base a aspectos estéticos y económicos, sino además, considerando cuantitativamente su impacto al medio ambiente.

1.2- Objetivos de la investigación.

1.2.1- Objetivo general:

- Realizar un análisis comparativo de la huella de carbono en procesos constructivos para la obra gruesa de edificaciones de mediana altura.

1.2.2- Objetivos específicos:

- Definir una metodología de estimación de la huella de carbono producida en edificaciones.
- Estimar la huella de carbono asociada a la obra gruesa de una edificación de hormigón armado, de cuatros pisos de altura.
- Estimar la huella de carbono asociada a la obra gruesa de una edificación de Madera Sólida Contralaminada (CLT), de cuatros pisos de altura.
- Comparar la huella de carbono producida, por una edificación de hormigón armado y una de madera sólida contralaminada.

2.- FUNDAMENTOS DEL ESTUDIO.

Con el fin de plantear una base teórica sobre la cual realizar el análisis comparativo que se presenta en este estudio, es relevante aclarar algunos conceptos de importancia dentro de este contexto. Por este motivo, a continuación se explican algunos conceptos y referencias clave, permitiendo de este modo una adecuada comprensión del tema desarrollado.

2.1.- Ciclo del Carbono y la Radiación Neta.

a) *Ciclo del Carbono*

El carbono corresponde a un elemento esencial para la vida en la tierra y que ejerce un impacto significativo en la atmósfera cuando sus concentraciones se ven alteradas. El ciclo del carbono corresponde a un proceso de transformaciones químicas a los que se ven sometidos aquellos compuestos que contienen carbono, mediante intercambios generados entre la biosfera, atmósfera, hidrosfera y litosfera. Es un ciclo de gran importancia para la supervivencia de los seres vivos, debido a que de éste depende la producción de materia orgánica y su presencia en la atmósfera afecta directamente a la regulación de la temperatura de nuestro planeta.

- *El carbono va de la atmósfera a las plantas:* En la atmósfera, el carbono se combina con el oxígeno en un gas llamado dióxido de carbono (CO_2). Con ayuda del Sol, mediante el proceso conocido como fotosíntesis, el dióxido de carbono es extraído del aire y se convierte en alimento.
- *El carbono va de las plantas a los animales:* Mediante las cadenas alimenticias, el carbono de las plantas va hacia los animales que se alimentan de ellas. Los animales que se alimentan de otros animales también obtienen el carbono a través de sus alimentos.
- *El carbono va de plantas y animales al suelo:* Cuando plantas y animales mueren, sus cuerpos, madera y hojas se descomponen en el suelo. Parte de la materia descompuesta queda enterrada y tras millones y millones de años, se convierte en combustible fósil.

- *El carbón va de seres vivos a la atmósfera:* Cada vez que un ser vivo exhala, este libera dióxido de carbono hacia la atmósfera. Los animales y las plantas se deshacen del gas dióxido de carbono mediante el proceso conocido como respiración.
- *El carbono de los combustibles fósiles va a la atmósfera cuando el combustible es quemado:* Cuando los seres humanos queman combustibles fósiles para dar energía a sus fábricas, plantas eléctricas, automóviles y camiones, la mayoría del carbono penetra la atmósfera rápidamente en forma gas dióxido de carbono.
- *El carbono se mueve de la atmósfera a los océanos:* Los océanos y otros cuerpos de agua absorben algo del carbono liberado a la atmósfera. El carbono se disuelve en el agua. Los animales marinos usan al carbón para crear el material de sus esqueletos y caparazones.

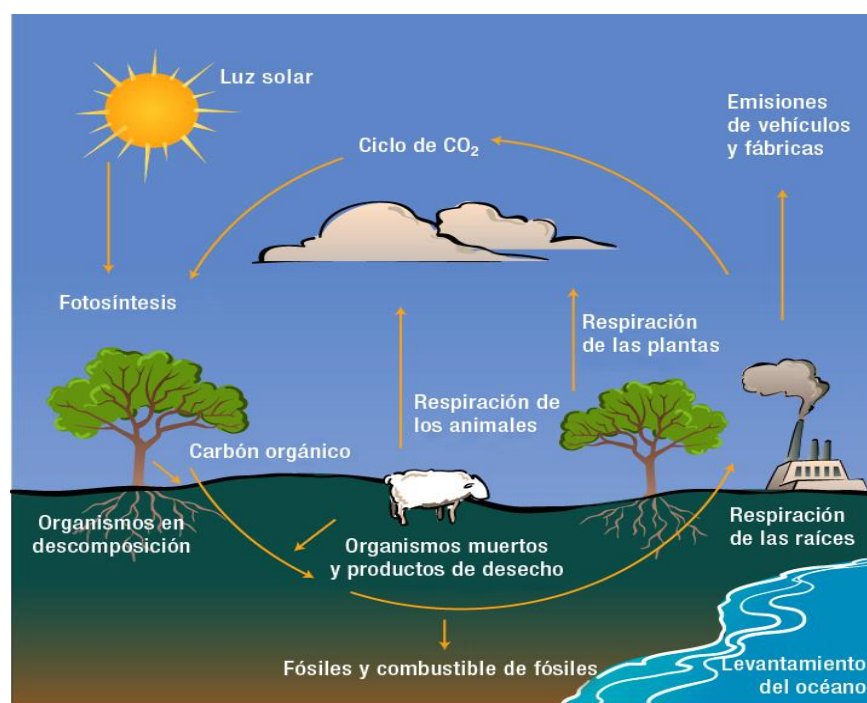


Figura 2.1 "Esquema del Ciclo del Carbono"

b) Radiación Neta

La Radiación Neta o balance de radiación es la diferencia entre los flujos de radiación incidente desde el sol y los emitidos por la superficie terrestre y la atmósfera. La importancia de este parámetro es que define la cantidad de energía aportada a la superficie terrestre para impulsar los procesos de evaporación, calentamiento del aire y suelo, así como también para los diversos procesos físicos y biológicos.



Figura 2.2 "Esquema de la Radiación Neta"

La radiación neta puede ser medida directamente con un instrumento llamado radiómetro neto o calculada en forma empírica, definida en la ecuación 1:

$$Ec. 1: \quad Rn = [(1 - A) * Rg] - \left[2,304 * (0,2 + 0,8) * \frac{n}{N} \right] * (100 - T)$$

Donde:

A = Albedo (valor decimal)

Rg = Radiación global

n = Duración de la radiación directa (hr)

N = Duración potencial de la insolación (hr)

T = Temperatura del aire (°C)

El reciente aumento en los gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera, como el dióxido de carbono, produce que la temperatura siga aumentando, debido a que la radiación emitida por el planeta que se va al espacio disminuye. En otras palabras como la radiación que escapa de la superficie terrestre es menor, la radiación total neta aumenta.

2.2.- Huella de Carbono (Footprint).

Se denomina huella de carbono al conjunto de emisiones de GEI producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o estados, en términos de CO_2 equivalentes, y se puede entender como una medida del impacto que se genera en el medio ambiente, específicamente en términos del cambio climático.

La iniciativa de medir huella de carbono parte del protocolo de Kioto de 1997 que, para frenar el cambio climático, impuso metas de reducción de CO_2 a los países industrializados.

Es una útil herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar nuestras emisiones y cómo podemos mejorarlas. (Reinoso, 2013)

2.2.1.- Enfoques de la Huella de Carbono.

La huella de carbono puede ser abordada desde distintos puntos de vista, dependiendo del enfoque o alcance específico. Para cada uno de estos enfoques existen diferentes protocolos o metodologías reconocidas internacionalmente.

Los enfoques son básicamente los siguientes:

- Enfoque Corporativo
- Enfoque de Producto o Servicio
- Enfoque Personal
- Enfoque en Eventos
- Enfoque Territorial
- Enfoques específicos por Industria

a) Metodologías específicas de mayor uso a nivel mundial.

Los enfoques más utilizados son:

- *Enfoque corporativo:*

Se cuantifican las emisiones directas, indirectas e involucradas de una empresa para un periodo de tiempo establecido, generalmente un año.

Normativas: “GHG Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard “, “GHG Protocol: Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard”.

- *Enfoque producto o servicio (Ciclo de vida):*

Se determinan las emisiones mediante un análisis de ciclo de vida del producto, es decir 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. Ha tenido un gran impacto y desarrollo en Europa y Japón, donde el etiquetado de productos es una tendencia creciente y rápidamente se está extendiendo hacia otros países, principalmente países exportadores.

Dentro de las metodologías para llevar a cabo una evaluación de la huella de carbono de producto, la de mayor reconocimiento internacional es las Especificaciones para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de bienes y servicios (PAS 2050:2011) desarrollada por la *BSI Group* a petición del Gobierno del Reino Unido.

Normativas: “PAS 2050:2011: Specifications for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services”, “PAS 2060:2010: Specification for the demonstration of carbon neutrality”, “GHG Protocol: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard”.

2.2.2.- Alcances

La huella de carbono puede ser abordada dependiendo del enfoque o alcance específico. Para cada uno de estos enfoques existen diferentes protocolos o metodologías reconocidas internacionalmente. Los enfoques son básicamente los siguientes:

a) Alcance 1: Emisiones directas de GEI

Las emisiones directas ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa. Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc., que son propiedad o están controlados por la empresa; emisiones provenientes de la producción química en equipos de proceso propios o controlados.

Las emisiones directas de CO₂ provenientes de la combustión de biomasa no deben incluirse en el alcance 1, debiéndose reportar de manera separada. Las emisiones de GEI no cubiertos por el Protocolo de Kioto, como CFCs, NO_x, etc., no deben incluirse en el alcance 1, pudiendo ser reportadas de manera separada.

b) Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad

El alcance 2 incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa. Electricidad adquirida se define como la electricidad que es comprada, o traída dentro del límite organizacional de la empresa. Las emisiones del alcance 2 ocurren físicamente en la planta donde la electricidad es generada.

c) Alcance 3: Otras emisiones indirectas

El alcance 3 es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas. Las emisiones del alcance 3 son consecuencia de las actividades de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa. Algunos ejemplos de actividades del alcance 3 son la extracción y producción de materiales adquiridos; el transporte de combustibles adquiridos; y el uso de productos y servicios vendidos. (Ranganathan et al, 2005).

2.3.- Análisis de Ciclo de Vida

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta metodológica para evaluar los potenciales impactos a la salud humana y medioambiente de productos, procesos y sistemas a lo largo de todo su ciclo de vida.

El ciclo de vida considera todas las etapas del producto, es decir desde la cuna (extracción de materias primas) hasta la tumba (fin de vida) incluyendo todas las etapas intermedias como transporte, manufactura, distribución, uso, etc.

Para la realización de un ACV se debe entender a cabalidad el sistema que se evalúa ya que es necesario recopilar y analizar todas las entradas (inputs) y salidas (outputs) asociados a las distintas etapas del ciclo de vida.

El ACV posee la característica de ser una herramienta holística, es decir, se basa en asumir que diferentes partes de un sistema están interrelacionadas entre sí y por ende solo se puede lograr entenderlo completamente si se integran todos los aspectos que participan.

Un ACV permite la estimación de los impactos ambientales acumulados generados en las distintas etapas del ciclo de vida del producto, logrando así la incorporación de impactos que no suelen ser considerados en otros tipos de evaluación.

El enfoque de ACV depende del tipo de usuario final de la información. Se puede realizar un ACV Business-to-Business B2B o Business-to-Consumers B2C, dependiendo del enfoque, se determinan que etapas del ciclo de vida se deben considerar. Normalmente B2B considera las etapas llamadas desde la cuna a la puerta o también desde la puerta a la puerta. Por otro lado el enfoque B2C considera las etapas desde la cuna a la tumba o también desde la cuna a la cuna en el caso de que exista reciclaje (Hevia, 2014). La principal barrera en la implementación de este tipo de análisis es su elevado costo en tiempo y dinero, ya que se necesita grandes cantidades de información a recopilar.

Una de las mayores complejidades en el proceso de recopilación de datos se debe al hecho de que al evaluar todo el ciclo de vida se necesita información de todas las organizaciones y procesos que intervienen en cada una de las etapas.

2.3.1.- Definición de Alcance y Objetivos.

La etapa de definición de alcance y objetivos corresponde al proceso que define el propósito de realizar un ACV y el método a utilizar para la inclusión de los impactos del ciclo de vida en la toma de decisiones.

Durante esta etapa se deben tomar decisiones acerca del tipo de información necesaria que se debe utilizar para que el proceso sea útil en la toma de decisiones, además, se debe establecer el rango de precisión que se necesita lograr en los resultados y por último, definir la manera en que estos últimos son comunicados e interpretados.

En esta fase del estudio se establece la unidad funcional la cual describe la función principal del sistema evaluado. Debido a su naturaleza holística un ACV completo puede resultar muy extenso. Es por esto que se deben identificar muy bien los límites del sistema procurando que cumplan con los objetivos de la evaluación. Dentro de las variables que determinan los límites del sistema se pueden identificar la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y limitaciones económicas y el destinatario previsto.

a) Inventario de ciclo de vida (ICV).

El inventario de ciclo de vida, ICV consiste en efectuar la cuantificación de requerimientos de energía y materias primas y de las emisiones a la atmósfera, emisiones al agua, desechos sólidos y otros tipos de emisiones durante el ciclo de vida completo de un producto, proceso o actividad.

El resultado de un ICV es una lista que contiene la cantidad de poluciones emitidas al ambiente y la cantidad de energía y materiales consumidos con relación al producto, proceso o actividad. Los resultados pueden ser separados por etapas del ciclo de vida, por tipo de emisión, o por una combinación de ambos.

b) Evaluación de impactos de ciclo de vida (EICV).

En esta etapa se evalúan los potenciales impactos a la salud humana y al medioambiente relacionados con el consumo de recursos y emisiones identificadas durante el ACV. El objetivo de esta etapa corresponde a establecer las relaciones entre un proceso o producto y sus potenciales impactos ambientales (SAIC, 2006).

La importancia de este análisis radica en que una correcta evaluación de impactos en el análisis de ciclo de vida permite comparaciones más robustas y un mejor entendimiento de los efectos asociados al proceso o producto.

Una diferencia importante entre los diferentes métodos de evaluación de impactos reside en la opción de analizar el efecto último del impacto ambiental, endpoint, o bien, considerar los efectos intermedios, midpoints. Las categorías de impacto ambiental intermedias se hallan más cercanas a la intervención ambiental, permitiendo, en general, modelos de cálculo que se ajustan mejor a dicha intervención. Éstas proporcionan una información más detallada sobre de qué manera y en qué punto se afecta al medio ambiente. Las categorías de impacto finales son variables que afectan directamente a la sociedad, por tanto su elección resultaría más relevante y comprensible a escala global. Sin embargo, la metodología para llegar a cuantificar el efecto último no está plenamente elaborada, no existe el suficiente consenso científico necesario para recomendar su uso. Por todo ello, actualmente, es más común recurrir a categorías de impacto intermedia.

c) Interpretación del ciclo de vida

La interpretación del ciclo de vida (ICV) es el último paso de un ACV y se puede definir como un sistema técnico que permite identificar, cuantificar, revisar, evaluar y comunicar efectivamente la información proveniente del ICV y EICV. Los resultados provenientes de dicha interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones. Permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por tanto que puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de datos se podrá determinar cuál presenta un mejor comportamiento ambiental.

d) Análisis de ciclo de vida en la construcción

Existe una interdependencia entre las distintas etapas del ciclo de vida de un edificio. Por ejemplo, si se invierte menos en la etapa de construcción utilizando materiales con baja capacidad de aislación térmica se tendrá que invertir más en la etapa de uso debido a mayores cargas de ventilación y/o calefacción. Un análisis ACV puede ser utilizado como una herramienta más para optimizar el comportamiento a la hora de diseñar un edificio.

Existen diversas aplicaciones de un ACV en la industria de la construcción, entre las que se puede destacar el uso para la selección de los materiales y elementos de construcción, procesos constructivos o una evaluación completa del edificio (Hevia, 2014)

ACV se ha usado en la construcción desde 1990 y hasta la fecha se han desarrollado diversas herramientas para evaluaciones ambientales con el enfoque ciclo de vida, las cuales se pueden clasificar en 3 niveles (Ortiz, 2009)

- Nivel 1: Herramientas de comparación de productos. Gabi (GER), SimaPro(NL), TEAM (Fra), LCAit (SE), National RenewableEnergyLaboratory's (NREL)U.S.Life-CycleInventory(LCI)Database.
- Nivel 2: Herramientas de apoyo para decisiones de diseños de todo el edificio. LISA (Aus), Ecoquantum (NL), Envest 2 (UK)
- Nivel 3: Marco de trabajo o sistemas para la evaluación completa de edificios. BREEAM (UK), LEED (USA), SEDA (Aus).

En Europa se han desarrollado una serie de proyectos que trabajan con ACV en la construcción. En la mayoría de ellos el objetivo era adaptar la metodología de un ACV al sector de la construcción y desarrollar herramientas amigables para los evaluadores. Algunos ejemplos de estos proyectos son, REGENER, Annex 31 IEA, PRESCO, IMPRO-Building, ENSLIC Building y LoRe-LCA.

A la fecha se han desarrollado una serie de softwares que facilitan el proceso de evaluación. En conjunto con estos softwares se utilizan bases de datos las cuales representan condiciones específicas al tipo de país y su ubicación. Las bases de datos más desarrolladas actualmente representan condiciones de países industrializados. La información para países en vías de desarrollo aún es escasa.

Como se mencionó anteriormente, la ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 son las normas de estandarización del ACV para productos y servicios. Sin embargo, en Europa se han generado estándares específicos para el sector de la construcción, los cuales son desarrollados por el organismo europeo de normalización CEN TC 350. Este organismo propone el ciclo de vida de una construcción, mostrado en la Figura N° 2.2, el cual se desarrolla bajo un principio de modularidad.

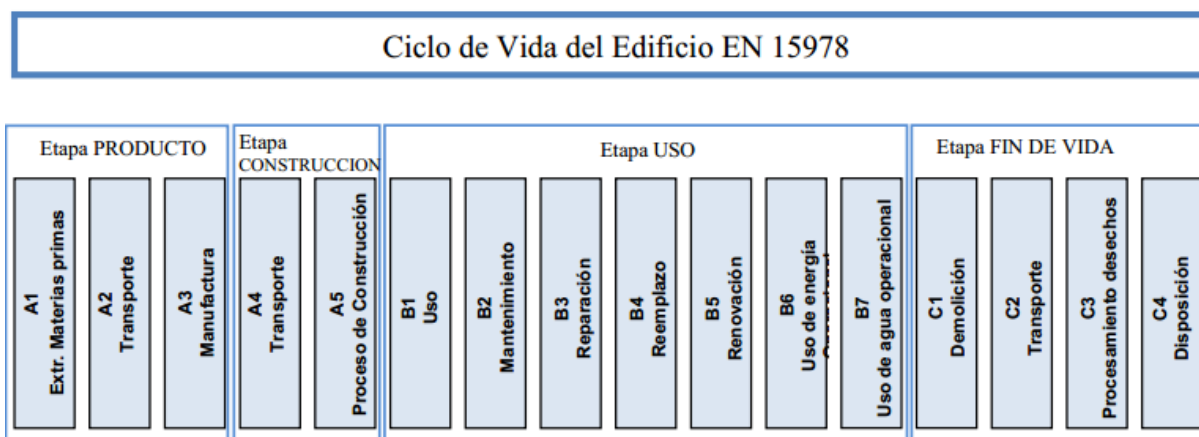


Figura 2.2 "Etapas de ciclo de vida de la construcción"

De todos los inputs que intervienen en el desarrollo de un proyecto de construcción, uno de los más relevantes corresponde a la energía consumida en cada una de las etapas del ciclo de vida. Este hecho se traduce en que las emisiones relacionadas con la energía ocupan un elevado porcentaje de participación entre todas las emisiones.

2.4.- Ventajas de la madera como material constructivo.

Durante más de un siglo las ciudades en todo el mundo han sido formadas por edificios de altura construidos principalmente en acero y hormigón. Estos materiales poseen importantes propiedades estructurales y han sido históricamente opciones apropiadas para edificios de altura durante toda la era moderna.

Arquitectos e ingenieros han explorado el potencial del hormigón y el acero ampliamente. Han desarrollado un amplio conocimiento de los resultados obtenidos en una variedad de solicitaciones, incluyendo actividad sísmica alta y cargas de viento. Estos materiales han permitido edificios de gran altura, que comúnmente se ven en todo el mundo.

Hoy se tiene un nuevo paradigma que pone en tela de juicio estos dos materiales predominantes y nos obliga a realizarnos la pregunta. ¿Existen otras alternativas con menor impacto sobre el cambio climático? (Green, 2012)

Actualmente el 50% de la población mundial vive en entornos urbanos. Se estima que para el año 2050, esta cifra aumentará aproximadamente a un 70%. Estos asentamientos van a requerir grandes soluciones para la industria de la construcción.

También se estima que 3 millones de personas requerirán un nuevo hogar durante los próximos 20 años. Esto implica que se construirán más edificios de hormigón armado para atender esta demanda (UN-HABITAT, 2008).

La industria de la construcción representa aproximadamente un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero del mundo. Esto es debido principalmente al consumo de combustibles fósiles en operaciones de construcción tales como calefacción, refrigeración e iluminación y en menor medida, el consumo de energía incorporada en los materiales y las actividades de construcción y mantenimiento. Fundamentalmente la gran huella de carbono de los edificios debe ser reducida para hacer frente al cambio climático.

Es así, como la madera puede contribuir y ayudar a solucionar este problema y las interrogantes que produce.

Numerosas publicaciones han hablado sobre la baja producción de huella de carbono obtenida por la madera frente a otros sistemas constructivos. Un ejemplo de esto es un estudio elaborado por The Canadian Wood Council, *Energy and the Environment in Residential Construction* (2004). Este estudio incluye una evaluación de las siguientes etapas del ciclo de vida de la madera: fabricación de productos, obras, mantenimiento y sustitución de equipo, y la construcción final de su vida útil (demolición y la disposición final de los materiales). Algunos de los resultados obtenidos son los siguientes:

“Los diseños de estructuras de acero y hormigón armado, emiten el 34% y 81 % más gases de efecto invernadero que un diseño en madera. A su vez, estos diseños liberan un 24% y un 47% más contaminantes en el aire que los construidos en madera.”

2.4.1.- Captura de Carbono

Un bosque en crecimiento, elimina dióxido de carbono de la atmósfera y almacena este carbono en la vegetación y el suelo. Algo de este carbono es liberado a la atmósfera a través de la descomposición de árboles, incendios forestales, brotes de insectos y prácticas de gestión forestal. Un bosque, si se administra de forma adecuada y responsable, es un importante reservorio de carbono.

La madera almacena alrededor de 1,6 toneladas de dióxido de carbono por metro cúbico de madera en función a la especie y métodos de cosecha (FPInnovations, 2011). Además se considera que un entramado de madera, de una casa típica de Estados Unidos, capta alrededor de 28 toneladas de dióxido de carbono. El equivalente de siete años de la conducción de un coche de tamaño medio o cerca de 12.500 litros de gasolina (Pérez, 2009).

Si se observa el almacenamiento temporal de CO₂ en la madera, las alternativas son múltiples. Esta es un área que ha estado generando un gran interés principalmente porque la madera al final de su vida útil puede ser utilizada como una fuente de energía vía métodos como simple combustión, gasificación o pirolisis. La energía producida con madera tiene muy bajas -casi nulas- emisiones de CO₂ asociadas. Esta energía puede potencialmente desplazar el uso de

energías generadas con combustibles fósiles tales como carbón, gas natural o diesel, los que tienen asociadas altas emisiones de CO₂.

Un ejemplo del buen uso de residuos de madera generados no solo durante faenas forestales sino que también durante la construcción o demolición de edificios construidos en madera, es la ciudad de Vaxjo en Suecia. Esta ciudad de aproximadamente 85.000 habitantes recibió el año 2007 el Sustainable Energy Award en el que la Comunidad Europea la reconoció como la más sustentable de las ciudades en Europa. La gran innovación en el caso de Vaxjo es que cuenta con un sistema de co-generación de calor para calefacción urbana y electricidad para uso general producida en grandes calderas que queman residuos de madera. Este es solo un ejemplo que permite visualizar formas en las que el ciclo del carbono en la madera es integrado en su totalidad a un sistema urbano efectivo (Pérez, 2009).

2.4.2.- Los bosques gestionados de manera sostenible

La realización de edificios de alta y mediana altura incrementa significativamente la demanda de madera. Esto plantea un nuevo desafío sobre si el mundo tiene suficientes recursos forestales para, de manera sostenible apoyar una iniciativa de este tipo. Un componente clave para responder a esta pregunta es comprender la diferencia entre la deforestación y el aprovechamiento sostenible de los bosques.

Hacia los años 90 el crecimiento poblacional en el mundo generaba un considerable incremento en el consumo de productos y como consecuencia aumentaba la producción industrial en masa, pero a su vez la preocupación por la conservación y protección de los recursos naturales y la integridad de las personas.

Como consecuencia de lo anterior, se crean mecanismos de control bajo tres aspectos fundamentales: Ambiental, Social y Económico, términos reunidos en el concepto de sustentabilidad, lo que significa seguir por la senda del desarrollo económico pero con el compromiso de reducir el impacto negativo al medio ambiente y la sociedad.

Esto da paso a que en el sector nacieran los Sistemas de Certificación de Manejo Forestal Sustentable, que de manera particular buscan promover el desarrollo de la industria forestal,

contrarrestando, con normas de gestión estructurales, la tala ilegal e irracional de los bosques, y a su vez, exigen a las empresas mecanismos efectivos y procesos demostrables de protección de los servicios ambientales que genera el bosque; que promuevan el respeto y mejores relaciones con las comunidades que conviven con los predios forestales; y que impulsen condiciones y desarrollo laboral de calidad para sus trabajadores (Sistema Chileno de Certificación de Manejo Forestal Sustentable).

Los puntos básicos que debe poseer un correcto sistema de manejo forestal sustentable, corresponde a:

- Prácticas de gestión forestal que se ajusten a las leyes actuales.
- Protección de la biodiversidad, especies en riesgo y vida silvestre. Protección de hábitat, niveles de cosecha sostenible. Protección del agua, su calidad; y además la regeneración (reforestación y plantación).
- Certificación de terceros, auditorías llevadas a cabo por los organismos de certificación
- Resúmenes de auditorías de certificación disponibles públicamente.
- Participación de múltiples interesados en el proceso de desarrollo de normas.
- Quejas y procesos de apelaciones.

Si al final de un ciclo de vida de un edificio sus componentes de madera no se reciclan en otros usos, sólo se ha logrado retrasar el cambio climático (no es reversible) con una fórmula de liberación prolongada de carbono almacenado en la atmósfera a través descomposición o combustión. La transformación de estructuras de madera para otros usos en la final de vida es un componente fundamental del enfoque de sostenibilidad regenerativa.

3.- METODOLOGÍA.

La metodología empleada en esta investigación, a sido llevada a cabo bajo el enfoque de producto o servicio, de acuerdo al protocolo PAS 2050:2011. Uno de los objetivos de este protocolo consiste en desarrollar estándares de contabilidad y entrega de informes de emisión de CO₂ y promover la adopción del protocolo a nivel mundial.

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 toneladas de CO₂ equivalente:* Una vez completadas las etapas anteriores es posible calcular las toneladas de CO₂ 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 toneladas de CO₂ liberado al ambiente, considerando cada resultado obtenido mediante la operación descrita en el paso anterior.

Cabe señalar que esta metodología, ha sido modificada para ser adaptada al objeto de estudio (Acotada a una parte del ciclo de vida del producto).

3.1.- Cálculo de Huella de Carbono aplicada a Edificaciones.

Se realiza la primera etapa definida en metodología donde se mide la cantidad de material utilizado en cada edificación. Dicha medición fue realizada por medio de planillas Excel, para contabilizar la cantidad de materia prima utilizada en el proceso constructivo. Además, se consideraron los valores asociados a la maquinaria utilizada.

Posteriormente como se describe en la etapa número dos, se realiza una búsqueda y adaptación de factores de emisión de GEI (gases de efecto invernadero) para cada uno de los ítems de cubicación realizada. De esta manera al realizar una operación simple (multiplicación) se obtiene la emisión de CO_2 de cada uno de los procesos y la suma de cada uno de estos, entregará por resultado la huella de carbono emitida en la fabricación del producto en estudio.

Cabe señalar que la obtención de dichos factores de emisión, fue realizada mediante un estudio a la cantidad de CO_2 emitido en la elaboración del material. Los factores de emisión se encuentran en constante estudio, debido a que existen muchas variables a tener en cuenta al momento de calcularlos.

Esto implica que no hay valores universales absolutos, pero es posible llegar a una aproximación válida si se tiene en cuenta que la cantidad real de dióxido de carbono que se emite cuando se elabora un producto, dependerá del tipo de energía utilizada en el proceso de fabricación.

Este estudio está centrado en la obra gruesa de una estructura de cuatro pisos, por lo cual es necesario señalar que, según la ordenanza general de urbanismo y construcciones, se define como obra gruesa a la “Parte de una edificación que abarca desde los cimientos hasta la techumbre, incluida la totalidad de su estructura y muros divisorios, sin incluir las instalaciones, las terminaciones y cierres de vanos”.

En la Tabla 1, se resumen los factores de emisión utilizados en los cálculos posteriores y se comenta de forma breve la validez de utilización de los mismos.

Tabla 1: "Factores de Emisión utilizados"

Material	Factor de emisión	Unidad de medida	Fuente	Comentario
Cemento	0,4985	Ton CO ₂ /Ton de cemento producida	Inventario nacional de gases de efecto invernadero	Estudio realizado en Chile (2008)
Acero	1,6	Ton CO ₂ /Ton de acero producida	Inventario nacional de gases de efecto invernadero	Estudio realizado en Chile (2008)
CLT	0,25	Ton CO ₂ /Ton de CLT producida	American Hardwood Export Council (AHEC)	Proceso de elaboración de CLT similar al realizado en Chile (2013)
Moldajes	1,07	Ton CO ₂ /Ton de moldaje producida	Inventario de carbono & energía (ICE)	Estudio realizado por la universidad de Bath, en Reino Unido, basado a un proceso productivo similar a Chile (2011)
Equipos	0,379	Ton CO ₂ /KWH de uso del equipo	Informe Chile Sustentable	Estudio realizado en Chile (2013)

3.1.1.- Caso de estructura de cuatro pisos, de madera sólida contralaminada (CLT).

Para acotar la investigación y realizar un correcto análisis, se toma en cuenta los siguientes materiales que corresponden a la obra gruesa del proyecto:

- CLT (Madera Sólida Contralaminada).

Además de considerar otros aspectos de la producción como: Uso de grúas para instalación, herramientas y equipos.

A continuación se detallan los aspectos más importantes que se consideraron, para la obtención de los factores de emisión de CO₂ de los principales materiales, en la obra gruesa del proyecto.

a) *Factor de emisión del CLT.*

El factor de emisión de huella de carbono para la madera sólida contralaminada, es presentado el año 2013 por la AHEC (American Hardwood Export Council), principal representante de las empresas exportadoras y todas las asociaciones comerciales estadounidenses de productos de madera de frondosas.

Para obtener el factor de emisión del CLT se analizan las siguientes fases del ciclo de vida del producto:

- ✓ Madera: Proceso de aserradero, secado de la madera en bruto y transporte entre los procesos.
- ✓ Transporte a lugar de procesamiento: Movilización de la madera en bruto al lugar donde se elabora el CLT.
- ✓ Pegamento para CLT: producción de pegamento del borde (vinilo basado) y pegamento de la cara (resina epoxi) para CLT.
- ✓ Fabricación de CLT: Se considera consumo de la electricidad y recuperación de desecho de madera en caldera del establecimiento de producción.
- ✓ Transporte a lugar de destino: Vía terrestre a lugar de uso.

Dentro de los procesos de elaboración de madera sólida contralaminada nombrados anteriormente, cobran especial importancia en términos de emisión de gases de efecto invernadero, las de aserrado y secado. Esto debido a los requerimientos de energía eléctrica asociados.

Debido a que las condiciones de elaboración para la madera sólida contralaminada son similares a las empleadas en Chile, se considera que puede emplearse el mismo factor de emisión para el caso estudiado.

La huella de carbono producida incluyendo todos los procesos para la extracción, el transporte y la transformación de los materiales y para la fabricación, el envío y la instalación de la estructura, es de 13,1 toneladas equivalentes de CO₂.

La huella de carbono de los 23 metros cúbicos de madera contralaminada en el punto de despacho desde las instalaciones de producción, es de 5,8 toneladas equivalentes de CO₂ (alrededor de 250 kg equivalentes de CO₂ por metro cúbico). Lo que es equivalente a 0,25

$$\left[\frac{\text{Ton de CO}_2}{\text{m}^3 \text{ de CLT}} \right].$$

✓ Cálculos obtenidos en cada partida:

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “MSC machón y pilar (muros)”:

$$\text{Total de m}^3 \text{ de CLT utilizados} = 210.188 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 210.188 [\text{m}^3 \text{ de CLT}] * \frac{0,25 [\text{ton CO}_2]}{[1 \text{ m}^3 \text{ de CLT}]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 52.55 [\text{ton CO}_2]$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “MSC Losa”

$$\text{Total de m}^3 \text{ de CLT utilizados} = 125.28 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 125.28 [\text{m}^3 \text{ de CLT}] * \frac{0,25 [\text{ton CO}_2]}{[[\text{m}^3 \text{ de CLT}]]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 31.32 [\text{ton CO}_2]$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Escalera”

$$\text{Total de m}^3 \text{ de CLT utilizados} = 8.49 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 8.49 [\text{m}^3 \text{ de CLT}] * \frac{0,25 [\text{ton CO}_2]}{[[\text{m}^3 \text{ de CLT}]]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 2.11 [\text{ton CO}_2]$$

3.1.2.- Caso de estructura de cuatro pisos, de hormigón armado.

Para acotar la investigación y realizar un correcto análisis, se toma en consideración los siguientes materiales que corresponden a la obra gruesa del proyecto:

- Hormigón armado.

Además de considerar otros aspectos de la producción como moldajes, uso de herramientas y equipos.

A continuación se detallan los aspectos más importantes que se consideraron, para la obtención de los factores de emisión de CO₂ de los principales materiales, en la obra gruesa del proyecto.

a) *Factor de emisión del Hormigón.*

El hormigón es un material compuesto, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos. El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos (que se clasifican en grava, gravilla y arena).

Considerando que el cemento es la materia prima principal del hormigón y teniendo en cuenta que no hay datos claros y confiables referentes a la emisión de CO₂ durante la producción de los demás compuestos, se realizan las mediciones en relación al factor de emisión del cemento, teniendo claro que no corresponde al total sino a una aproximación.

✓ *Obtención del Factor de Emisión del Cemento.*

La estimación de las emisiones de CO₂ de la producción de cemento, se realiza mediante la aplicación de un factor de emisiones que consiste en toneladas de CO₂ liberado por tonelada de clínker producido, considerando la producción anual de clínker. El factor de emisión (EF) es el producto de la fracción de cal utilizada en el clínker de cemento y una constante que refleja la masa de CO₂ liberado por unidad cal.

$$EF_{\text{clinker}} = \text{Fraction CaO} \times (44.01 \text{ g/mole CO}_2 / 56.08 \text{ g/mole CaO})$$

or

$$EF_{\text{clinker}} = \text{Fraction CaO} \times 0.785$$

Hay dos métodos para calcular este factor de emisión. En el primero se debe asumir una fracción de CaO media en escoria. Puesto que el clínker se mezcla con yeso que no contiene cal por unidad, para hacer cemento, el clínker tiene un porcentaje de cal más alto que el cemento acabado. Se estima que el porcentaje promedio de cal en el clínker es de un 64.6%. Este valor, al ser multiplicado por la proporción del peso molecular de CO_2 /CaO (0.785) nos entrega por resultado, el factor de la emisión del cemento (0.5071 toneladas de CO_2 /toneladas de cemento producido).

$$EF_{\text{clinker}} = 0.646 \times 0.785 = 0.5071$$

Un segundo método consiste en reunir datos nacionales o regionales de producción de clínker por tipo y por contenido de Cal. A continuación, calcular el promedio ponderado de la cantidad de Cal presente en el cemento. En la mayoría de los países, la diferencia entre los resultados de estos dos métodos es pequeña.

Si la información sobre producción de clínker no está fácilmente disponible, el factor de emisión en toneladas de CO_2 liberado por tonelada de cemento producido, se puede aplicar a la producción por año. Este enfoque utiliza un promedio de 63,5% de CaO contenido en el cemento.

$$EF_{\text{cement}} = 0.635 \times 0.785 = 0.4985$$

Por lo tanto el factor de emisión utilizado corresponde a 0,4985 toneladas de CO_2 por tonelada de cemento producido. Teniendo en consideración que la producción anual de cemento, es obtenida de la base de datos del Instituto Chileno del hormigón.

Para la estimación de emisiones se considera la producción anual de cemento entregada por Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH). Se ha considerado usar el factor correspondiente a la producción anual de cemento, siendo éste 0,4985 [t CO₂/t cemento producido].

- ✓ Cálculos obtenidos en cada partida:

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Cemento fundación”:

$$\text{Masa total de cemento utilizado} = 23,83 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 23,83 \text{ [Ton cemento]} * \frac{0,4985 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton cemento]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 11,88 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Cemento Machón y pilares”:

$$\text{Masa total de cemento utilizado} = 84,08 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 84,08 \text{ [Ton cemento]} * \frac{0,4985 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton cemento]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 41,91 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Cemento Losa”:

$$\text{Masa total de cemento utilizado} = 54,51 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 54,51 \text{ [Ton cemento]} * \frac{0,4985 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton cemento]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 27,17 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Cemento Escala”:

$$\text{Masa total de cemento utilizado} = 0,28 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 0,28 \text{ [Ton cemento]} * \frac{0,4985 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton cemento]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 0,14 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Moldajes”:

$$\text{Masa total de moldaje utilizado} = 24,13 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 24,13 \text{ [Ton cemento]} * \frac{1,07 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton moldaje]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 25,81 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

a) *Factor de emisión del Acero*

En el proceso productivo del acero se utiliza arrabio como una de las materias primas, el cual corresponde al material fundido que se obtiene en el alto horno mediante reducción del mineral de hierro.

El ciclo completo de producción, partiendo de hierro hasta llegar finalmente a acero, genera diversas emisiones de gases efecto invernadero, dependiendo de la operación unitaria perteneciente al proceso se puede llegar a generar CO₂, NO_x, COVNM, CO y/o SO₂.

Según las directrices del IPCC, el factor de emisión asociada a las emisiones de CO₂ se entrega para el proceso completo, sin embargo para el resto de los gases el factor de emisión específica la fuente de origen del gas, por ejemplo para el caso de CO su fuente de emisión es en producción de hierro-carga altos hornos, producción de hierro-colada del mineral de hierro y fabricación del acero-laminadores. En este marco y para términos de cálculos, los factores de emisión utilizados reflejan el ciclo completo de producción Hierro-Acero, es decir el factor de emisión total del proceso se obtiene a partir de la suma de los factores de cada operación unitaria. (POCH AMBIENTAL S.A. y Deuman, 2008)

El factor de emisión utilizado se muestran en la tabla N°2:

Tabla 2 "Factor de emisión del Acero"

GEI	Factor de emisión g/t producida
CO ₂	1,6 t/t producida

La producción de acero se obtuvo de Compañía Siderúrgica Huachipato S.A.

✓ Cálculos obtenidos en cada partida:

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Enfierradura Fundación”:

$$\text{Masa total de Acero utilizado} = 2,47 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 2,47 \text{ [Ton acero]} * \frac{1,6 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton acero]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 3,95 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Enfierradura Machón y Pilares”:

$$\text{Masa total de Acero utilizado} = 24,73 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 24,73 \text{ [Ton acero]} * \frac{1,6 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton acero]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 39,56 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Enfierradura Fundación”:

$$\text{Masa total de Acero utilizado} = 15,45 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 15,45 \text{ [Ton acero]} * \frac{1,6 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton acero]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 24,71 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Enfierradura Losa”:

$$\text{Masa total de Acero utilizado} = 0,12 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 0,12 \text{ [Ton acero]} * \frac{1,6 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton acero]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 0,18 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

Cálculo de huella de carbono, obtenido con la cubicación perteneciente al ítem “Enfierradura Fundación”:

$$\text{Masa total de Acero utilizado} = 2,47 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 2,47 \text{ [Ton acero]} * \frac{1,6 \text{ [ton CO}_2\text{]}}{\text{[ton acero]}}$$

$$\text{Masa de CO}_2 \text{ producido} = 3,95 \text{ [ton CO}_2\text{]}$$

4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se realiza un resumen de los datos obtenidos, mediante una medición de huella de carbono explicada en ítems anteriores. Dicha medición es llevada a cabo en planillas Excel de cálculo, que se adjuntan al final de este informe, en el apartado “Anexos”.

4.1.- Estructuras de Madera Sólida Contralaminada.

En el caso de la construcción de un edificio tipo, de cuatro pisos de altura considerando sólo la etapa de obra gruesa con madera sólida contralaminada, se obtiene un total aproximado de CO₂ producido de 104 Toneladas.

Considerando que el edificio tipo en construcción posee un total de 881 m², es posible definir que la producción de CO₂ por metro cuadrado de construcción corresponde a $0,12 \left[\frac{Ton}{m^2} \right]$.

Se consideran los datos expuestos en los fundamentos teóricos en cuanto a huella de carbono en la madera y se relaciona a la cantidad de metros construidos en la edificación, se obtiene que la cantidad de dióxido de carbono “absorbido” por la madera previo a su construcción corresponde a aproximadamente 538 toneladas en total, tomando en cuenta este dato es fácil notar que la madera absorbe mucho más dióxido de carbono de lo que emite en su construcción. Sin embargo, para fines comparativos de este estudio, se considerará la contaminación producida por etapas, teniendo en cuenta que la madera produce una huella de carbono menor a un tercio de la cantidad de dióxido de carbono que absorbe.

La partida con más aporte en cantidad de CO₂ emitido se atribuye a Muros y Losas, correspondiendo a un 80% del total de las emisiones producidas, con un total de 84 toneladas de CO₂ emitidas al ambiente.

Sin embargo un porcentaje no menor del total, lo representa la fundación del edificio compuesta por hormigón armado, generando alrededor de un 15% del total calculado.

4.2.- Estructuras de Hormigón Armado.

En el caso de la construcción de un edificio tipo, de cuatro pisos de altura considerando sólo la etapa de obra gruesa con Hormigón armado, se obtiene un total aproximado de CO₂ producido de 185 Toneladas.

Considerando que el edificio tipo en construcción posee un total de 881 m², es posible definir que la producción de CO₂ por metro cuadrado de construcción corresponde a $0,21 \left[\frac{Ton}{m^2} \right]$.

La partida con más aporte en cantidad de CO₂ emitido se atribuye a Muros, Pilares y Losas, correspondiendo a un 86% del total de las emisiones producidas, con un total de 159 toneladas de CO₂ emitidas al ambiente.

4.3.- Análisis comparativo.

A continuación se realiza un análisis a ambos procesos productivos y las sub-etapas dentro de la obra gruesa de cada proyecto. Considerándose las siguientes partidas:

- ✓ Fundaciones, escala, equipos.
- ✓ Muros, Pilares y Losas.

4.3.1.-Descripción por Etapas

a) *Fundaciones, escala, equipos*

El Gráfico N°1 resume los resultados obtenidos, realizando un paralelo para la misma etapa en ambas edificaciones.

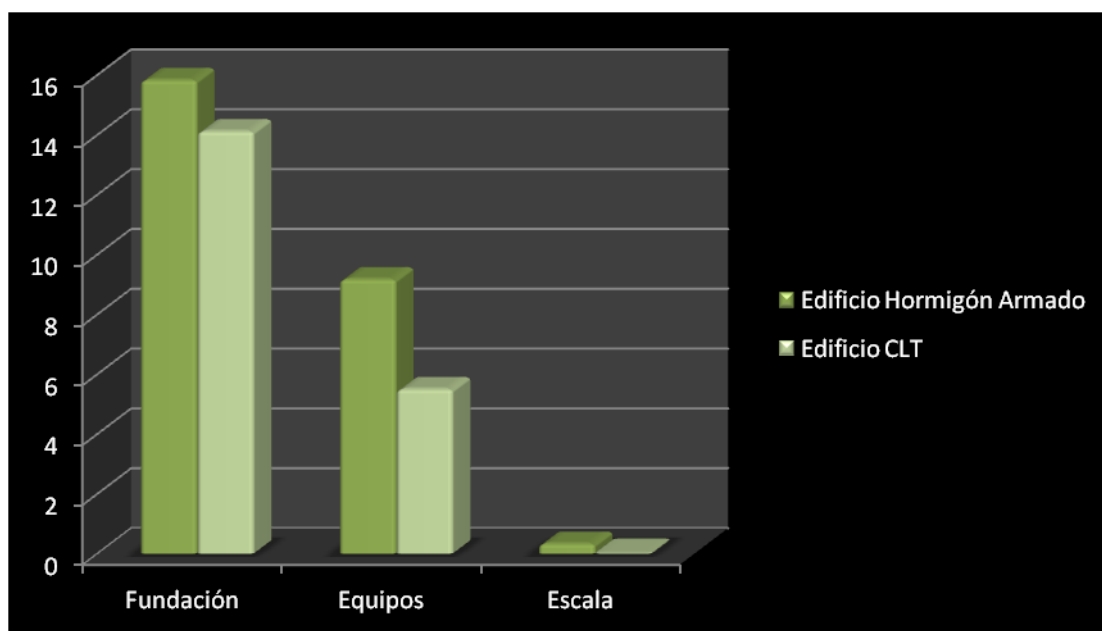


Gráfico 1: "Comparación de emisiones totales por partida"

Etapa de fundación: La cantidad de emisión producida por la edificación de CLT es un 10% más baja que las del mismo edificio construido en hormigón armado, esto equivale a aproximadamente 5 toneladas más de CO₂ liberadas al ambiente por el edificio de hormigón armado, a pesar de que ambas poseen el mismo diseño de fundación. Esto se debe a que las edificaciones con CLT son más livianas lo que se traduce en fundaciones más pequeñas.

Equipos: La diferencia en esta partida es menor. Esto se debe a que para ambos casos la maquinaria utilizada es similar y por lo tanto el consumo de electricidad es también equivalente. Es importante señalar que la diferencia de emisión por consumo eléctrico se puede asociar a la cantidad de tiempo en que ambos edificios son construidos.

Los edificios construidos con madera sólida contralaminada, poseen un tiempo de construcción menor que los edificios de hormigón armado, lo que se traduce en un ahorro de energía eléctrica por concepto de maquinaria y herramientas.

b) Muros, Pilares y Losas

Para esta etapa del proceso constructivo se consideran muros de 17 cm y losas de 15 cm de espesor respectivamente, para ambos edificios. Con lo que se obtuvieron los resultados resumidos en el gráfico N°2.

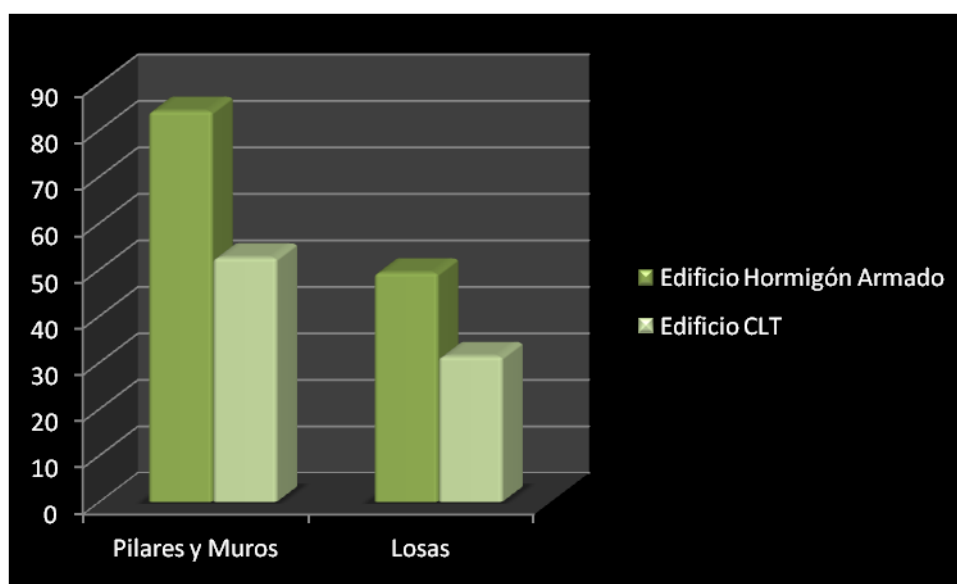


Gráfico 2: “Comparación de toneladas de emisiones totales por partida”

La variación de emisiones de CO_2 en la etapa de *Muros y Pilares* es amplia, por lo cual se deduce que es aquí donde la diferencia entre ambos procesos productivos cobra mayor importancia. La cantidad de emisión producida por el edificio de hormigón armado es alrededor de un 40% mayor que la producida por el edificio construido empleando CLT.

Dicha variación es producida debido a que los edificios construidos usando el sistema CLT son soportados tanto por los mismos paneles en la envolvente como por los paneles en particiones interiores. No existen elementos estructurales predominantes tales como columnas o vigas.

En cuanto a la etapa *losas*, los valores de ambas edificaciones se aproximan siendo siempre menores en el caso de la edificación de CLT. La cantidad de emisión producida por el edificio de hormigón armado es alrededor de un 30% mayor que la producida por el edificio construido empleando CLT.

4.3.2.- Resultados Totales

En el gráfico N° 2 se muestra el total de emisiones de CO_2 obtenido en ambos edificios, teniendo en cuenta que la cantidad de dióxido de carbono “absorbido” por la madera previo a su construcción corresponde a aproximadamente 538 toneladas en total. Lo que implica que el edificio de CLT emite menos CO_2 del que absorbe previo a su uso.

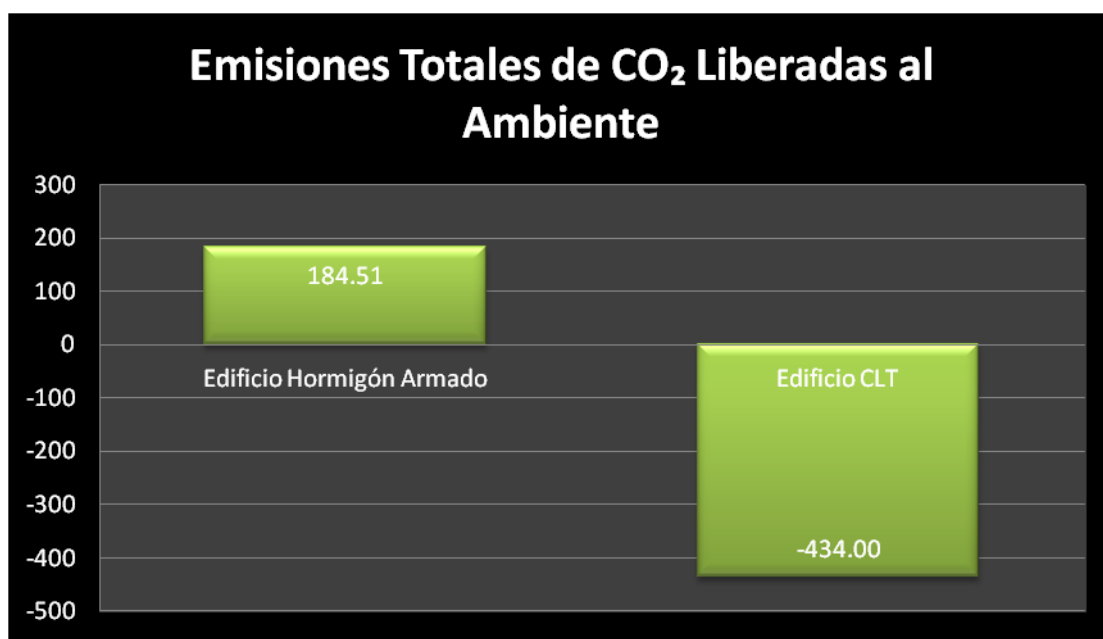


Gráfico 2: "Emisiones totales por Edificación"

5.- CONCLUSIONES.

- Durante el proceso constructivo del edificio de 4 pisos de hormigón armado, se generan aproximadamente 185 toneladas de CO₂ liberadas al ambiente. En cambio, durante la construcción de un edificio de similares características de CLT, se emiten sólo 104 toneladas de CO₂, de lo cual se desprende que la edificación de CLT emite aproximadamente un 43,8% menos de CO₂ liberado a la atmósfera.
- El total de emisiones de CO₂ del edificio de 4 pisos de madera sólida contralaminada corresponde a 104 toneladas, las cuales son liberadas al ambiente. Si se considera que la madera genera un impacto negativo en la huella de carbono debido al CO₂ que absorbe en los bosques (538 toneladas), las emisiones generadas durante el proceso constructivo del edificio elaborado a base de CLT representan un total de -434 toneladas de CO₂.
- Considerando el análisis realizado por etapas a ambas construcciones, los niveles donde se observan mayores diferencias corresponde a la etapa de “Muros, pilares y losas”. Se determinó que las emisiones de CO₂ producidas por el edificio elaborado con CLT representan un 60% de las emitidas durante el proceso constructivo del edificio construido con hormigón armado.
- El tiempo de elaboración de las edificaciones de CLT (1.5 meses) es menor en comparación al caso de estructuras de hormigón armado (2.5 meses), lo que se traduce en una disminución en el tiempo de utilización de maquinarias, que también involucra una menor emisión de CO₂ por conceptos de uso de energía eléctrica. El edificio de hormigón armado consume un 40% más de kw-hr que el de CLT.
- Los principales factores que marcan la diferencia entre las emisiones producidas, corresponde a que los edificios construidos en madera sólida contralaminada no poseen elementos estructurales predominantes tales como columnas o vigas. Cabe señalar que las edificaciones en CLT son soportados por su misma estructura, lo cual disminuye la cantidad de material empleado.
- Aumentar la presencia de la madera como material constructivo de edificaciones, además de reducir la emisión de GEI asociado a su bajo factor de emisión comparado con otros materiales como el acero y el hormigón, permite disminuir la presencia de estos gases en la atmósfera al realizar un manejo forestal adecuado.

- Es importante recalcar el potencial de la madera sólida contralaminada a la hora de realizar edificaciones de altura, debido a su baja emisión de gases de efecto invernadero y su rápido proceso constructivo. No obstante se debe considerar las limitaciones de altura que existen en los actuales códigos de construcción chilenos. Es necesario estudiar la situación de la construcción en madera en altura en Chile y realizar códigos específicos de diseño que permitan el correcto desarrollo de este tipo de proyectos.
- Como recomendación personal, es necesario realizar más estudios de este tipo para distintos materiales y tipos de construcción, de manera de crear no sólo edificaciones de amplia durabilidad o resistencia, sino también edificios cuya construcción sea amigable con el medio ambiente. Es necesario tomar conciencia respecto a la importancia que posee el impacto ambiental producido en cualquier tipo de edificación. De esta manera, se abrirá la puerta a nuevas tecnologías que permitan edificaciones con menores emisiones de CO₂, logrando así contribuir en la disminución del efecto invernadero.
- La propuesta de esta investigación, no es eliminar el hormigón armado como método constructivo. Sino que se sugiere aumentar la participación de la madera para la construcción de todo tipo de estructuras. Reduciendo así la presencia de materiales que posean mayor factor de emisión.
- Según datos obtenidos de la Cámara Chilena de la Construcción, al año se construyen en el país un total aproximado de 875.000 viviendas. Si se utiliza esta cifra, para los próximos 10 años, se obtiene un total de viviendas construidas en Chile de 8.750.000 y esto traducido en huella de carbono para las viviendas construidas en hormigón armado (considerando que cada vivienda de hormigón armado libera en promedio 46 toneladas de CO₂) corresponde a un total de 404.687.500 toneladas de CO₂ liberados al ambiente. No obstante, si sólo el 10% de las viviendas se construyeran en madera sólida contralaminada la cantidad de CO₂ liberado al ambiente disminuye a 385.000.000 toneladas, es decir, la cantidad de dióxido de carbono que deja de emitirse corresponde a 19.687.500 toneladas.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Biology Cabinet, Research and Advisory on Biology, “Ciencia de los gases de invernadero” México. http://www.biocab.org/Gases_de_Invernadero.html Acceso el 15 de febrero de 2015.
- Cámara Chilena de la Construcción, <http://www.cchc.cl/> Acceso 24 de Marzo de 2015.
- Conciencia Eco, Revista digital sobre cultura ecológica, Colombia. <http://www.concienciaeco.com/2012/02/20/que-es-el-co2/> Acceso el 4 de febrero de 2015.
- Consejo sectorial Forestal-Madera. Estimación de la huella de carbono de productos forestales. Ministerio de Industrias, Energía y Minería, Montevideo, Uruguay.
- Green M. (2012) The case for tall wood Buildings, MGB Architecture & Desing, Canadá.
- Hevia R. (2014) Propuesta de metodología para cuantificación de huella de carbono de la energía operacional en edificios existentes. Tesis de pregrado, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile.
- Oliver R. (2014) Endless Stair muestra el camino hacia la auténtica sostenibilidad en el diseño. Consultor de sostenibilidad, AHEC (American Hardwood Export Council), Estados Unidos.
- Pérez N. (2009) Columna Madera y Tecnología: Ciclos de CO₂ en la Madera. Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera (CTT), Corporación Chilena de la Madera, Chile.
- POCH AMBIENTAL S.A. y DEUMAN (2008) Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero. Santiago, Chile.
- Programa Bosques PROcarbono, Universidad Austral de Chile (UACH) <http://www.uach.cl/procarbono/index.html> Acceso el 10 de febrero de 2015.

- Ranganathan, J., Moorcroft, D., Koch, J., Bhatia P. (2005), Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, Estándar corporativo de Contabilidad y Reporte, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México.
- Reinoso Navarro, A. (2013), Antecedentes conceptuales para el cálculo de la huella de carbono, Oficina de Cambio climático, Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.
- Revista BiT (2011), Construcción de Media Altura, 79, 20-28, Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), Cámara Chilena de la Construcción.
- Sistema Chileno de Certificación de Manejo Forestal Sustentable, Chile <http://www.certfor.org/index.php> Acceso el 7 de marzo de 2015.
- The Boston Consulting Group (2013). Inventario de emisiones de GEI 1990-2010, proyección de emisiones a 2040 y matices de abatimiento de CO₂-Chile.

7.- ANEXOS.

7.1.- Anexos teóricos del estudio.

7.1.1.-Origen de la Huella de Carbono.

La huella de carbono nace como una medida de cuantificar y generar un indicador del impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático, más allá de los grandes emisores.

El concepto huella de carbono se origina en movimientos ambientalistas, principalmente británicos, que cuestionaron el consumo de alimentos producidos lejos del sitio de consumo, respaldando el consumo preferencial de alimentos de origen local, por considerarlos más amigables con el medio ambiente al no incluir las emisiones de GEI atribuidas al transporte desde regiones lejanas. La consecuencia en el Reino Unido fue que el término está siendo asumido por los grandes distribuidores de alimentos, entre otros.

No hay un origen claro de la definición, como hoy se le conoce, sin embargo es probable que sea una extensión del concepto de huella ecológica, desarrollado por el ecólogo William Rees a principio de los 90.

Desde el año 2005 el concepto de huella de carbono ha tomado mayor fuerza a través de diversas campañas. Actualmente la huella de carbono se ha posicionado como un indicador de impacto atmosférico en el clima. (Reinoso, 2013).

7.1.2.-Beneficios de la Huella de Carbono.

Al identificar las fuentes de emisiones de GEI de un producto, en todo el proceso productivo, permite definir mejores objetivos, estrategias de reducción de emisiones más efectivas y ahorros de costo, debido al mejor conocimiento de los puntos críticos para la reducción de emisiones.

La Huella de Carbono puede fortalecer las relaciones entre compañías y proveedores, particularmente si esto implica oportunidades de ahorros en los costos sobre de la cadena de proveedores.

Al informar la huella de carbono de un producto, se genera un compromiso por parte de los consumidores por reducir su propio impacto sobre el cambio climático y además se crea conciencia por parte de los países desarrollados a diferenciar entre productos basado en su compromiso de reducir emisiones.

7.1.3.- Huella de Carbono en Chile.

Principalmente, las exportaciones en Chile consisten en recursos naturales o productos derivados de ellos y de sus productos agrícolas, donde las materias de exportación son el cobre, pescados, frutas, productos químicos, vinos, papel y pulpa. Por lo tanto es de gran importancia dar a conocer la huella de carbono que genera la elaboración de estos productos, puesto que sus principales clientes son los que presentan una mayor conciencia sobre el Cambio Climático.

En Chile existen algunas compañías que han neutralizado su huella de carbono, como la Viña Ventisquero, Viña Santa Carolina, Viña Errázuriz, Viña Cono Sur, Via Wines entre otras. Un ejemplo de cómo las viñas han hecho cambios es el caso de la Viña Cono Sur, que ha hecho de la bicicleta un elemento central de su marketing. En toda su publicidad destacan que sus viñedos abundan las bicicletas, ya que en ellas se desplazan sus trabajadores para proteger la tierra en la cual trabajan.

El embotellado de los vinos y su transporte internacional son las etapas que generan la mayor cantidad de emisiones de GEI. En ellas hay un protagonista común: la botella. El uso de botellas livianas es una práctica ampliamente utilizada a nivel mundial. Prácticamente todas las viñas chilenas nombradas las ocupan en alguna proporción, incluso aquellas que no están midiendo su huella de carbono, aludiendo a las menores emisiones de CO₂ que generan.

Por otro lado, Via Wines está optando cada vez más por las videoconferencias en vez de los viajes internacionales, ya que los vuelos en avión de los ejecutivos van sumando emisiones a la huella de carbono corporativa.

En el caso de viñas más jóvenes, han podido incorporar el ecodiseño en sus nuevas construcciones. Este concepto implica que el diseño se hace minimizando los costos ambientales –presentes y futuros- en nuevos productos, envases o procesos. Viña Errázuriz construyó su

nueva bodega bajo este concepto, lo que se tradujo, por ejemplo, en el aprovechamiento de la luminosidad natural, por lo que no se encienden las luces produciendo así una disminución de huella de carbono por conceptos de ahorro energético. Además cuenta con un sistema de geotermia, lo que permite mantener la temperatura constante en su interior (Leal, 2012).

A su vez, el país ha ratificado diversos tratados internacionales y participa en numerosas instancias a nivel mundial. A partir del año 2010, Chile integra la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), siendo el primer país sudamericano en ingresar a dicho organismo. Igualmente participa activamente en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Es relevante mencionar que el 23 de agosto de 2010, el país comunicó oficialmente a la Secretaría de la CMNUCC que realizará acciones nacionalmente apropiadas de mitigación, de modo de lograr una desviación de 20% por debajo de su trayectoria creciente de emisiones “business-as-usual” en el 2020, proyectadas desde el año 2007. En la misma declaración se explicó que las medidas de eficiencia energética, energías renovables y medidas de uso de suelo, cambio de uso de suelo y forestales serán el foco principal de las acciones nacionalmente apropiadas de mitigación de Chile. Del mismo modo se han elaborado programas en materia ambiental y energética para dar cumplimiento a los compromisos adquiridos. Ejemplo de ello es la Estrategia Nacional de Energía 2012-2030, instrumento que destaca la importancia de tomar consciencia para lograr mayor desarrollo de la eficiencia energética, considerando la creciente preocupación por el medioambiente y la seguridad energética de Chile. En efecto, señala que “esa conciencia tiene que materializarse en actos concretos y la eficiencia energética debe incorporarse en el comportamiento cotidiano de todos los actores, tanto a nivel público como privado, y en este último caso, en los sectores residencial, comercial, minero, transporte e industrial.”

7.1.4.- Casos en Chile.

La huella de carbono, llega a Chile con la cadena de supermercados Wal-Mart, quien empezará a pedir a sus proveedores un análisis de trazabilidad de carbono.

Ventisquero, recientemente recibió un certificado de Climate Care por la compensación de 27 toneladas de CO₂ en 2008, a través de proyectos para reducción de GEI, los que incluyen iniciativas de eficiencia energética y reforestación de bosques.

Chile cuenta con el primer vino carbono neutro de Sudamérica: El nuevo mundo de viña de Martino. Elaborado a partir de uvas cultivadas orgánicamente en el valle del Maipo es el primero en obtener certificación en todos sus procesos de elaboración, ya que desde su nacimiento hasta la llegada al cliente, todos los GEI de su producción, embalaje y transporte, son reducidos a cero. Es certificado como carbono neutral por Carbon Reduction Institute.

Aunque EEUU no ratificó el protocolo de Kioto, firmas como Wal-Mart, Cosco y K-Mart suscribieron el Carbon Disclosure Project, donde se comprometen a reducir la huella de carbono al interior de las tiendas y en los productos que compran. Los primeros productos que Wal-Mart ingresó al Carbon Disclosure Project, en 2007, fueron pastas de dientes, DVD, sopas, leche, cerveza, soda y aspiradoras. Este año añadió los artículos electrónicos. En Europa los etiquetados son más frecuentes y se los encuentra en envases de leche y hamburguesas.

7.1.5.- Exportación en Chile.

Si Chile quiere ser competitivo a nivel mundial, tiene que tener clara cuál es la huella de carbono de sus productos exportados a naciones y esto incluye la estela de CO₂ que deje su transporte.

Según Rodrigo Valenzuela, jefe de Proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) de la consultora de energía y cambio climático Deuman, Chile corre el riesgo que sus productos sean difíciles de exportar por las huellas que generan. "En el mundo ya se está regulando las emisiones de los productos que se exportan, y Chile debe incorporar esta variable, competidores como Nueva Zelanda y Australia ya lo hacen".

En este sentido, el sector privado tiene claro que las barreras arancelarias pueden subir si Chile no se vuelve más competitivo con una huella de carbono clara y baja.

7.1.6.- Las emisiones de GEI en Chile.

Según lo indican los inventarios nacionales elaborados por CONAMA, con ocasión de la Primera Comunicación Nacional (1999), y luego en actualizaciones posteriores. Chile aparece en la posición 90 respecto a las emisiones de CO₂ per cápita en el mundo para el año 2004, con un valor de 3,9 ton CO₂ por habitante.

Según el informe GEI de la U. de Chile, al 2005 el país tenía 31 millones de toneladas de emisiones netas. Y si bien el aporte de Chile a las emisiones mundiales es marginal (entre 0,2% y 0,3% del total) es la nación latinoamericana cuyas emisiones más crecen entre 1990 y 2006. En la figura 7.1 se muestra las emisiones de CO₂ equivalente por sector en Chile, donde las mayores emisiones la encontramos en el sector Energía. (DEUMAN, 2008).

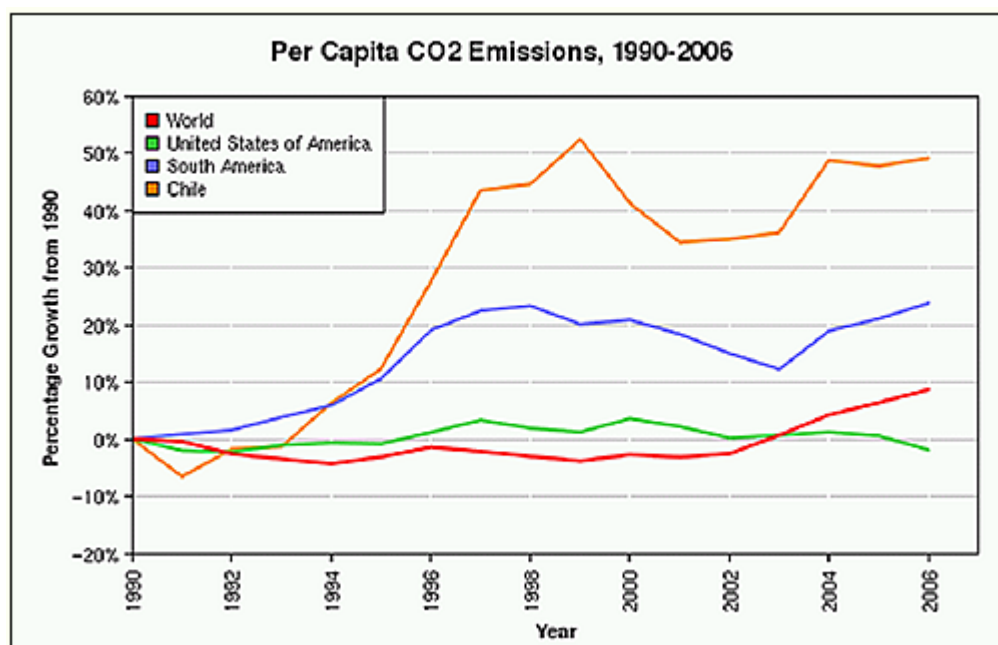


Figura 7. 1.-"Emisiones de Dióxido de Carbono Per Cápita"

7.1.7.- *Medidas para Mitigar las Emisiones.*

Hasta ahora algunas medidas aplicadas incluyen:

- Regulaciones y normas: proporcionan, por lo general, cierta certidumbre en cuanto a los niveles de emisiones. Éstas pueden ser preferibles a otros instrumentos cuando la información u otras barreras impiden a los productores y consumidores responder a las señales de los precios. No obstante, pueden impedir innovaciones tecnológicas más avanzadas.
- Impuestos y gravámenes: pueden fijar el precio del carbono, pero no pueden garantizar un nivel de emisiones particular. Puede ser útil para internalizar los costos de las emisiones de gases de efecto invernadero (externalidad negativa).
- Permisos negociables: establecerán un precio del carbono. El volumen de las emisiones permitidas determina su eficacia ambiental, mientras que la asignación de permisos conlleva consecuencias en la distribución. Las fluctuaciones del precio del carbono dificultan la estimación del coste total del cumplimiento de los permisos de emisión.
- Incentivos Financieros (subsídios y créditos tributarios): son empleados a menudo por los gobiernos para estimular el desarrollo y la difusión de nuevas tecnologías. Si bien el coste económico es, por lo general, mayor que el de los instrumentos relacionados anteriormente, a menudo son fundamentales para superar las barreras en la lucha contra el cambio climático.
- Acuerdos voluntarios entre la industria y los Gobiernos: son políticamente atractivos, sensibilizan a las partes interesadas y han desempeñado un papel en la evolución de muchas políticas nacionales. La mayoría de los acuerdos no ha logrado reducciones de emisiones significativas más allá de las usuales. Sin embargo, en unos pocos países, algunos acuerdos recientes han acelerado la aplicación de la mejor tecnología disponible y conducido a reducciones de emisiones medibles.

- Instrumentos de información (por ejemplo, campañas de sensibilización): Pueden influir positivamente en la calidad del medio ambiente, al promover opciones informadas y posiblemente contribuir a cambios de comportamiento; no obstante, aún no se ha cuantificado su impacto en las emisiones.
- Investigación y Desarrollo: pueden estimular los avances tecnológicos, reducir costes y posibilitar progresos hacia la estabilización.

En Chile, entre las medidas que se están aplicando en la actualidad se encuentran el fomento del desarrollo de biocombustibles y de energías renovables no convencionales, promover la protección y el uso sustentable de los bosques nativos, diseñar una estrategia nacional para la gestión integrada de cuencas, promover el uso eficiente de la energía y estimular los proyectos de desarrollo limpio.

7.1.8- El efecto invernadero.

El efecto invernadero es el fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera terrestre, retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación solar. Sucede en todos los cuerpos planetarios rocosos dotados de atmósfera. Este fenómeno evita que la energía recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero.

El efecto invernadero hace que la temperatura media de la superficie de la Tierra sea 33° C mayor que la que tendría si no existieran gases con efecto invernadero en la atmósfera.

El efecto invernadero se origina porque la energía que llega del sol, al proceder de un cuerpo de muy elevada temperatura, está formada por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmósfera con gran facilidad. A su vez, la energía remitida hacia el exterior, desde la Tierra, al proceder de un cuerpo mucho más frío, está en forma de ondas de frecuencias más bajas, y es absorbida por los gases con efecto invernadero.

Esta retención de la energía hace que la temperatura sea más alta, aunque hay que entender bien que, al final, en condiciones normales, es igual la cantidad de energía que llega a la Tierra que

la que esta emite. Si no fuera así, la temperatura de nuestro planeta habría ido aumentando continuamente, cosa que, por fortuna, no ha sucedido.

Podemos afirmar entonces, que el efecto invernadero lo que hace es provocar que la energía que llega a la Tierra sea "devuelta" más lentamente, por lo que es "mantenida" más tiempo junto a la superficie y así se mantiene la elevación de temperatura.

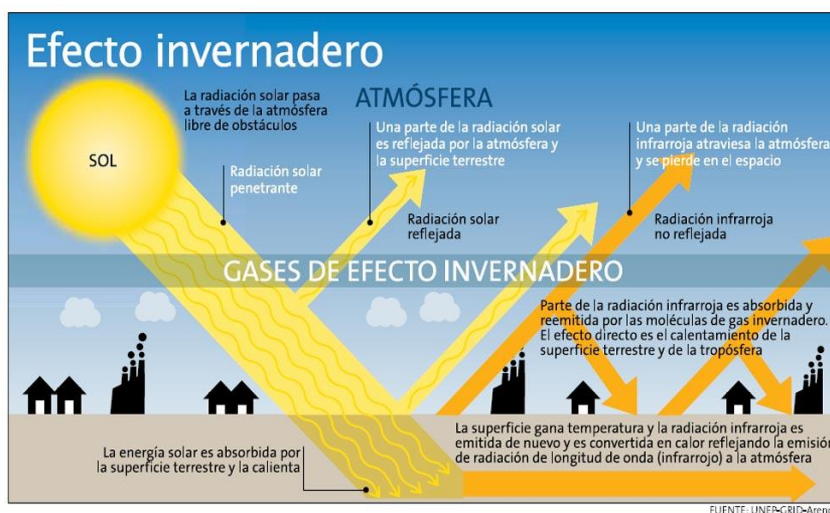


Figura 7. 2. "Esquema del efecto invernadero"

7.1.9.- Gases con efecto invernadero.

Tabla 7.1 Gases con efecto invernadero

	Acción relativa	Contribución real
CO ₂ (dióxido de Carbono)	1 (referencia)	76 por ciento
CFCs	15.000	5 por ciento
CH ₄ (metano)	25	13 por ciento
N ₂ O (óxido nitroso)	230	6 por ciento

Como se indica en la columna de acción relativa, un gramo de clorofluorocarbono (CFC) produce un efecto invernadero 15.000 veces mayor que un gramo de dióxido de Carbono

(CO₂), pero como la cantidad de CO₂ es mucho mayor que la del resto de los gases, la contribución real al efecto invernadero (en porcentaje) es la que señala la columna de la derecha. Otros gases como el oxígeno y el nitrógeno, aunque se encuentran en proporciones mucho mayores, no son capaces de generar efecto invernadero.

7.1.10.- Descripción de los principales gases que producen efecto invernadero.

a) Dióxido de Carbono o Anhídrido de Carbono (CO₂)



Figura 7. 3 "Emanaciones industriales de dióxido de carbono"

El CO₂ no es el gas más peligroso en toxicidad y permanencia en la atmósfera, pero sí lo es si se tiene en cuenta su concentración, mil veces superior a la de cualquier otro producto de origen industrial. Las emisiones de gas carbónico (CO₂) representan el 60 % del efecto invernadero derivado de la actividad humana.

El origen del CO₂: Se genera al oxidarse el carbón o cualquier compuesto que lo forme, y nada mejor para ello que la combustión, empezando por hidrocarburos de automóviles y calefacciones industriales, la antracita y la hulla de las centrales térmicas, la turba de las chimeneas, los incendios forestales y, en menor proporción, el gas.

El CO₂ antropogénico (originado en la actividad humana) varía sensiblemente según la zona. En los Estados Unidos se debe al transporte; en China, a la industria y a las térmicas; en los

países de la OPEP, a las centrales de petróleo; y en los países pobres, con menor contaminación, a la quema de leña para hacer fuego (calor, cocina)

La inyección total de gas carbónico en la atmósfera en 1990, como resultado de la actividad humana, se estimaba en 30.000 millones de toneladas métricas anuales, lo que representa una aportación de un poco más de 8.000 toneladas anuales de carbono.

La atmósfera contiene unos 750.000 millones de toneladas de carbono. Intercambia anualmente 90.000 millones de toneladas aproximadamente con los océanos, y 100.000 millones adicionales con la biosfera terrestre.

Los procesos naturales generan un balance entre lo que se emite y lo que se absorbe. Pero las evidencias indican que sólo un poco más de la mitad de las emisiones de carbono producto de la actividad humana es absorbida en estos procesos naturales. El resto (45 por ciento) contribuye a aumentar la concentración de carbono en la atmósfera, y por lo tanto, la retención de calor solar. El CO₂ registra un tiempo de permanencia atmosférica de 100 a 150 años.

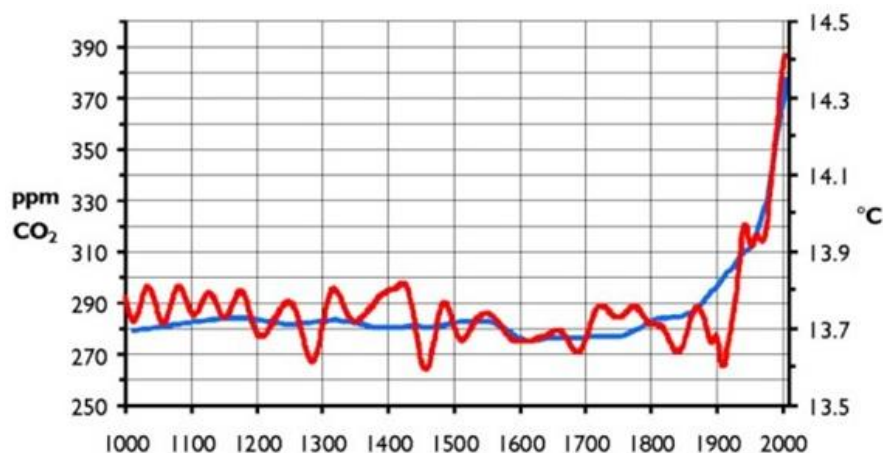


Figura 7. 4 "Variación de la temperatura, con respecto a la concentración de dióxido de carbono en la atmosfera"

La figura 7.4 muestra la relación entre la concentración de CO₂ (azul) y la temperatura (rojo) durante los últimos mil años. Es evidente la relación que hay entre ambos y se puede observar que no existen, en la historia reciente del planeta, unos niveles tan altos de CO₂ como los que existen hoy en día (Revista Conciencia Eco, 2012).

b) El Metano (CH₄)



Figura 7. 5 "Ganadería, principal fuente de emisión de gas Metano"

El metano, generado en actividades agropecuarias, es responsable del 16 por ciento del efecto invernadero.

El origen del CH₄: El metano surge fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica en ambientes pobres en oxígeno, y sus principales productores son el ciclo digestivo del ganado, ciertos cultivos (por ejemplo, los arrozales), los vertederos y, en menor proporción, los incendios forestales, la actividad de las termitas y otros insectos.

Aunque este volumen es considerablemente inferior al de CO₂, su efecto se magnifica porque la contribución de cada molécula de metano en el efecto invernadero es aproximadamente veinticinco veces superior a la de cada molécula de CO₂. La concentración de metano en la atmósfera se ha duplicado en los últimos doscientos años. Su tiempo de permanencia en la atmósfera es de siete a diez años.

c) El óxido nitroso (N_2O)



Figura 7. 6 "Óxido nitroso emanado al ambiente"

Los óxidos nitrosos (N_2O) representan el seis por ciento del efecto invernadero. Origen del N_2O : Proviene principalmente de las chimeneas de las centrales energéticas que utilizan carbón, de los tubos de escape de los automóviles, y de la acción de los fertilizantes nitrogenados que se utilizan en agricultura.

El óxido nitroso también se libera por la degradación de fertilizantes nitrogenados y estiércol del ganado. Aunque su concentración en la atmósfera es escasa, una molécula de N_2O tiene un poder de calentamiento global 230 veces superior a la del CO_2 , con un tiempo de permanencia en la atmósfera de 150 años.

d) Los Clorofluorocarbonos.



Figura 7. 7 "Aerosol Común"

La producción de cloro-fluoro-carbonos (CFCs) contribuye con aproximadamente el catorce por ciento del efecto invernadero.

Origen de los CFCs: Son gases no naturales -origen puramente industrial- con poder tóxico. Son sustancias químicas sintéticas, formadas por cloro, flúor y carbono.

Las moléculas de CFC tienen una larga vida activa. El CFC-11 es activo durante unos 65 años y el CFC-12 durante unos 110 años. Cada molécula de CFC-11 y de CFC-12 contribuye 3.500 y 7.300 veces más, respectivamente, al efecto invernadero que cada molécula de CO₂. En 1985 se registró una producción anual de 330.000 toneladas de CFC-11 y 440.000 toneladas de CFC-12.

Los CFC también destruyen la capa de ozono en la atmósfera, y hacen que una mayor proporción de rayos ultravioletas llegue a la superficie de la Tierra. Las moléculas de CFC son fraccionadas por rayos ultravioletas produciendo cloro. Éstas a la vez reducen el ozono a oxígeno al sacarle uno de sus átomos. El cloro no sufre un cambio permanente, por lo cual, cada molécula puede repetir el proceso, destruyendo miles de moléculas de ozono.

Una mayor incidencia de rayos ultravioleta tendría importantes efectos tanto en la agricultura como en la salud humana. El cáncer de piel, los problemas oculares y las afecciones del sistema inmunológico son las amenazas más inmediatas para la salud de la población humana. Podrían también presentarse efectos adversos sobre las algas y el plancton, bases de la cadena alimenticia en el mar.

Los sustitutos del CFC, los hidrofluorcarbonos (HFC) y los hidroclorocarbonos (HCFC), son menos nocivos para el ozono, pero contribuyen de la misma manera al efecto invernadero. Así, pues, sólo pueden ser considerados soluciones transitorias.

A causa de los efectos de las emisiones de CFCs, al bajo volumen que se produce con otros gases, y al desarrollo de sustitutos, fue posible un acuerdo internacional para reducir la producción. El Protocolo de Montreal de 1987 limitó la producción a los niveles ya conseguidos en ese año y propuso reducir las emisiones en 50 por ciento para el 2000.

7.1.11.- Aumento de la concentración de gases con efecto invernadero.

Durante el siglo veinte la concentración de anhídrido carbónico y otros gases invernadero en la atmósfera creció constantemente debido a la actividad humana:

- A comienzos de siglo, por la quema de grandes masas de vegetación para ampliar las tierras de cultivo.
- En los últimos decenios, por el uso masivo de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural, para obtener energía y por los procesos industriales.

La concentración media de dióxido de carbono se ha incrementado desde unas 275 ppm (partículas por millón) antes de la revolución industrial, a 315 ppm cuando se empezaron a usar las primeras estaciones de medida exactas en 1958, hasta 361 ppm en 1996.

El dióxido de carbono explica más del sesenta por ciento del “efecto invernadero”. El hombre quema carbón, petróleo y gas natural a una velocidad muchísimo mayor que el ritmo con que se crearon dichos recursos.

En ese proceso, el carbono almacenado en los combustibles se libera en la atmósfera y perturba el ciclo del carbono, sistema con miles de años de antigüedad y perfectamente equilibrado a

través del cual se produce un intercambio de carbono con el aire, los océanos y la vegetación terrestre.

En la actualidad, los niveles atmosféricos de dióxido de carbono están aumentando más del diez por ciento cada veinte años (Revista Conciencia Eco, 2012).

2.2.4.- Cambio climático.

Por lógica, muchos científicos piensan que a mayor concentración de gases con efecto invernadero se producirá mayor aumento en la temperatura en la Tierra.

A partir de 1979 los científicos comenzaron a afirmar que un aumento al doble en la concentración del CO₂ en la atmósfera supondría un calentamiento medio de la superficie de la Tierra de entre 1,5 y 4,5° C (Revista Conciencia Eco, 2012).

Estudios más recientes sugieren que el calentamiento se produciría más rápidamente sobre tierra firme que sobre los mares. Asimismo, el calentamiento se produciría con retraso respecto al incremento en la concentración de los gases con efecto invernadero.

Al principio, los océanos más fríos tenderán a absorber una gran parte del calor adicional retrasando el calentamiento de la atmósfera. Sólo cuando los océanos lleguen a un nivel de equilibrio con los más altos niveles de CO₂ se producirá el calentamiento final.

Como consecuencia del retraso provocado por los océanos, los científicos no esperan que la Tierra se caliente todos los 1,5 – 4,5° C hasta hace poco previstos, incluso aunque el nivel de CO₂ suba a más del doble y se añadan otros gases con efecto invernadero. En la actualidad el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) predice un calentamiento de 1,0 – 3,5° C para el año 2100. La temperatura media de la Tierra ha crecido unos 0,6° C en los últimos 130 años.

Los estudios más recientes indican que en los últimos años se está produciendo, de hecho, un aumento de la temperatura media de la Tierra de algunas décimas de grado.

Debido a la enorme complejidad de los factores que afectan al clima es muy difícil saber si este ascenso de temperatura entra dentro de la variabilidad natural (debida a factores naturales) o si es debida al aumento del efecto invernadero provocado por la actividad humana.

Para analizar la relación entre las diversas variables y los cambios climáticos se usan modelos computacionales de una enorme complejidad.

Hay diversos modelos de este tipo y, aunque hay algunas diferencias entre ellos, es significativo ver que todos ellos predicen relación directa entre incremento en la temperatura media del planeta y aumento de las concentraciones de gases con efecto invernadero.

7.1.11.- Consecuencias del cambio climático

No es posible predecir con gran seguridad lo que pasaría en los distintos lugares, pero es previsible que los desiertos se hagan más cálidos pero no más húmedos, lo que tendría graves consecuencias en el Oriente Medio y en África donde el agua es escasa.

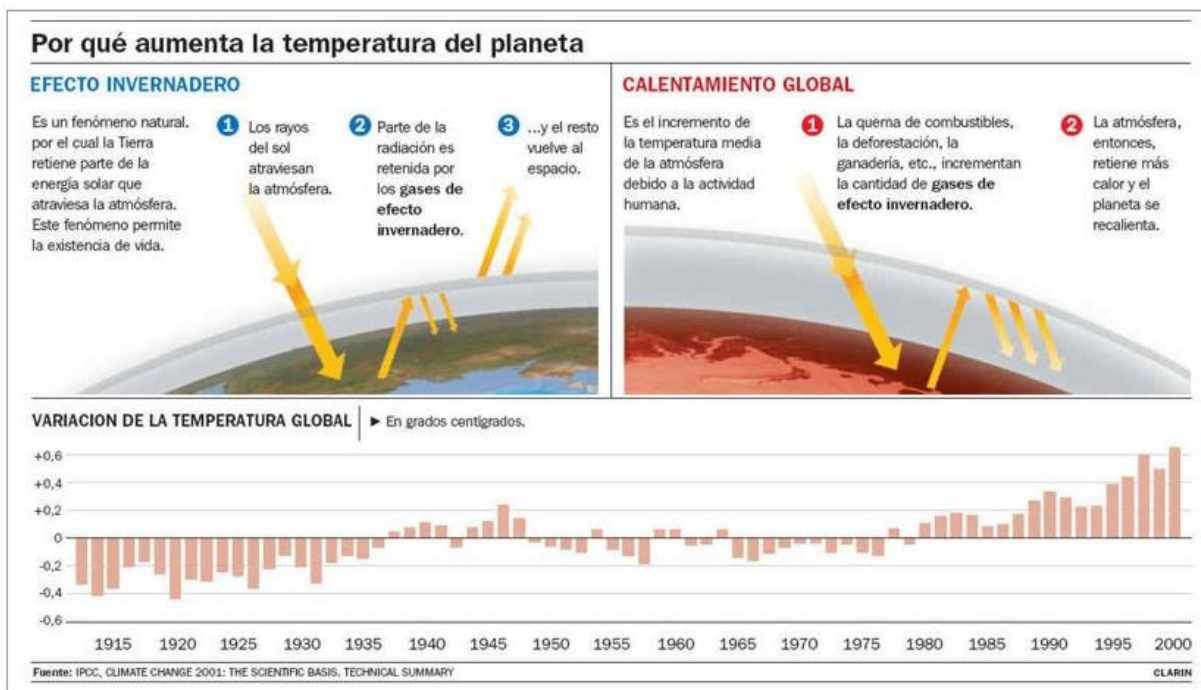


Figura 7. 8 "Cómo sube la temperatura en el planeta"

Entre un tercio y la mitad de todos los glaciares del mundo y gran parte de los casquetes polares se fundirían, poniendo en peligro las ciudades y campos situados en los valles que se encuentran por debajo del glaciar.

Grandes superficies costeras podrían desaparecer inundadas por las aguas que ascenderían de 0,5 a 2 m., según diferentes estimaciones. Unos 118 millones de personas podrían ver inundados los lugares en los que viven, por la subida de las aguas.

Tierras agrícolas se convertirían en desiertos y, en general, se producirían grandes cambios en los ecosistemas terrestres. Estos cambios supondrían una gigantesca convulsión en nuestra sociedad, que en un tiempo relativamente breve tendría que hacer frente a muchas obras de contención del mar, emigraciones de millones de personas, cambios en los cultivos, etc. (Revista Conciencia Eco, 2012)

1. Cálculos Edificio de Hormigón Armado

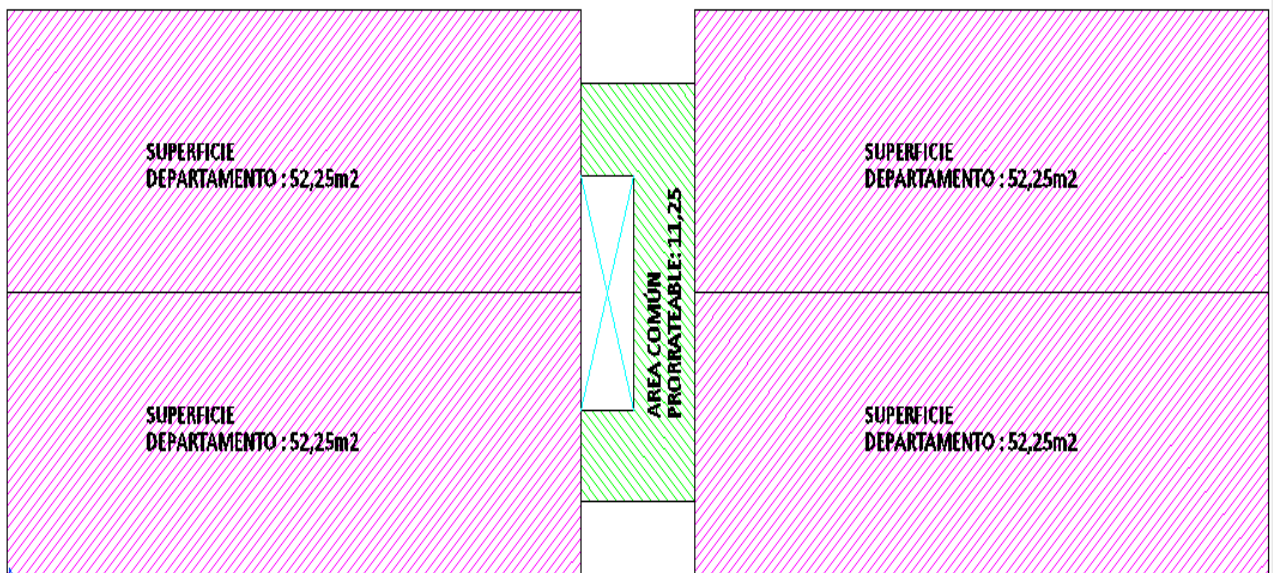
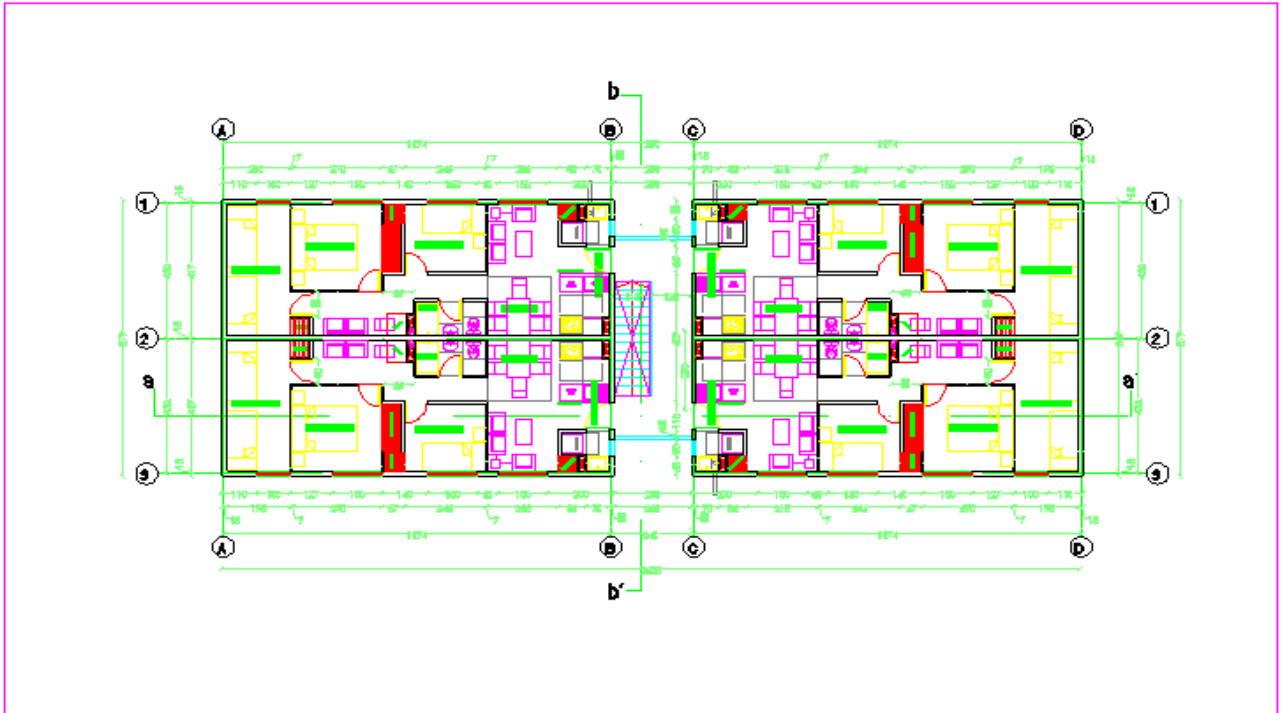
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	POTENCIA	UNIDAD	FACTOR DE CONVERSIÓN	UNIDAD	CO ₂ PRODUCIDO	UNIDAD	Sumatorias por procesos
FUNDACIONES									
FUNDACION EDIFICIO	224.28	M2							
CEMENTO	23.83	TON			0.50	Ton de CO ₂ /Ton	11.879255	Ton de CO ₂	
ENFIERRADURA	2.47	TON			1.60	Ton de CO ₂ /Ton	3.952	Ton de CO ₂	15.831255
MUROS, PILARES Y LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO									
MOLDAJE MUROS	17.44	TON			1.07	Ton de CO ₂ /Ton	18.6608	Ton de CO ₂	
ENFIERRADURA MACHON Y PILARES	24.73	TON			1.60	Ton de CO ₂ /Ton	39.5648	Ton de CO ₂	
CEMENTO MACHON Y PILAR	84.08	TON			0.50	Ton de CO ₂ /Ton	41.91388	Ton de CO ₂	
MOLDAJE LOSA	6.89	TON			1.07	Ton de CO ₂ /Ton	7.1583	Ton de CO ₂	
ENFIERRADURA LOSA	15.45	TON			1.6	Ton de CO ₂ /Ton	24.7149	Ton de CO ₂	
CEMENTO LOSA	54.51	TON			0.50	Ton de CO ₂ /Ton	27.173235	Ton de CO ₂	159
ESCALA HORMIGON ARMADO									
ENFIERRADURA ESCALA	0.12	TON			1.60	Ton de CO ₂ /Ton	0.1888	Ton de CO ₂	
CEMENTO ESCALA	0.28	TON			0.50	Ton de CO ₂ /Ton	0.1370875	Ton de CO ₂	0.33
ARRIENDOS Y EQUIPOS									
GRUA	400.00	HRS	60.00	KW	0.38	Kg de CO ₂ /KWH	9.096	Ton de CO ₂	
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	400.00	HRS	0.50	KW	0.38	Kg de CO ₂ /KWH	0.0758	Ton de CO ₂	9.17
TOTAL TONELADAS DE CO ₂ PRODUCIDO:							185		

2. Cálculos edificio de Madera Sólida Contralaminada.

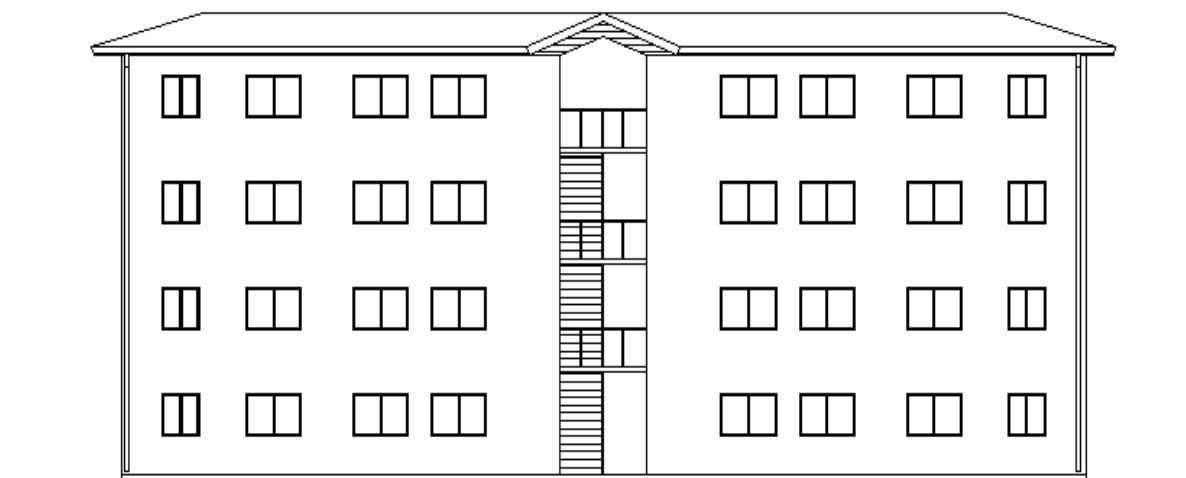
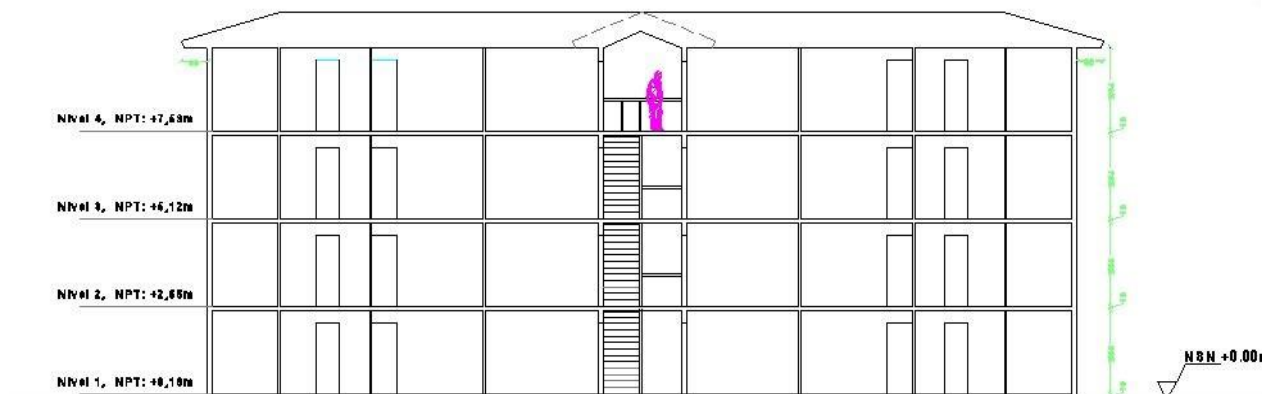
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	ESPESOR/POTENCIA	UNIDAD	FACTOR DE CONVERSIÓN	UNIDAD	CO ₂ PRODUCIDO	UNIDAD	Sumatoria por proceso
FUNDACIONES									
FUNDACION EDIFICIO	201.85	M2							
CEMENTO	21.45	TON			0.50	Ton de CO ₂ /Ton	10.69	Ton de CO ₂	
ENFIERRADURA	2.15	TON			1.60	Ton de CO ₂ /Ton	3.43	Ton de CO ₂	14.12
MUROS Y LOSAS									
MSC MACHON Y PILAR (MUROS)	1.236.40	M2	0.17	M	0.25	Ton de CO ₂ /M3	52.55	Ton de CO ₂	
MSC LOSA	835.20	M2	0.15	M	0.25	Ton de CO ₂ /M3	31.32	Ton de CO ₂	83.87
ESCALA DE MADERA									
MSC	1.08	M2	0.15	M	0.25	Ton de CO ₂ /Ton	0.04	Ton de CO ₂	0.04
ARRIENDOS Y EQUIPOS									
GRUA	240.00	HRS	60	KW	0.379	Kg de CO ₂ /KWH	5.46	Ton de CO ₂	
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	240.00	HRS	0.50	KW	0.379	Kg de CO ₂ /KWH	0.05	Ton de CO ₂	5.50
TOTAL TONELADAS DE CO ₂ PRODUCIDO:							103.54		

3. Planos Estructura Tipo.

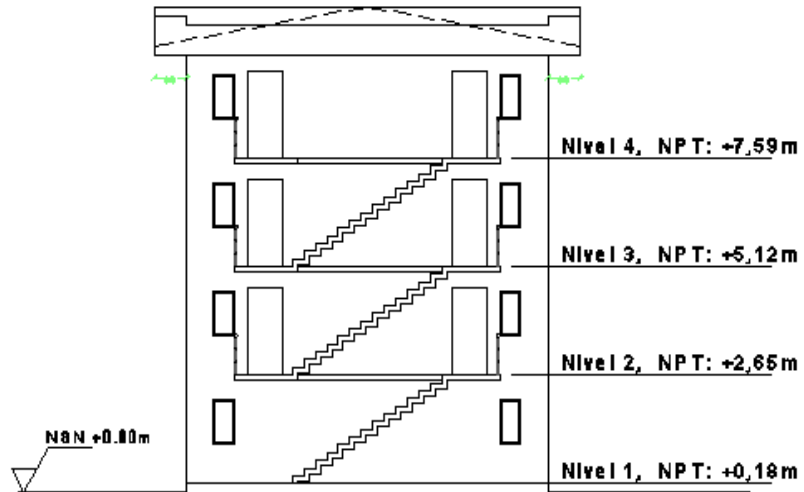
a) Planta



b) Elevaciones.



c) Corte Lateral.



4. Cantidad de viviendas construidas en el país durante los años 2013-2014 (Fuente: Cámara Chilena de Construcción)

MERCADO NACIONAL		Departamentos			Casas			Viviendas		
		Stock	Ventas	Meses	Stock	Ventas	Meses	Stock	Ventas	Meses
2013	E	50.125	2.746	18.3	17.260	2.137	8.1	67.385	4.883	13.8
	F	52.559	2.984	17.6	19.246	1.994	9.7	71.805	4.978	14.4
	M	52.794	3.226	16.4	18.943	2.119	8.9	71.737	5.345	13.4
	A	56.597	3.785	15.0	18.779	2.242	8.4	75.376	6.027	12.5
	M	58.132	3.760	15.5	18.025	2.504	7.2	76.157	6.264	12.2
	J	58.028	3.783	15.3	19.106	2.300	8.3	77.134	6.083	12.7
	J	56.916	4.062	14.0	16.132	1.804	8.9	73.048	5.866	12.5
	A	57.232	4.083	14.0	16.349	2.214	7.4	73.581	6.297	11.7
	S	57.228	3.639	15.7	18.166	1.737	10.5	75.394	5.376	14.0
	O	56.871	4.177	13.6	16.538	1.642	10.1	73.409	5.819	12.6
	N	55.072	4.274	12.9	15.710	1.712	9.2	70.782	5.986	11.8
	D	53.491	3.871	13.8	15.793	1.300	12.1	69.284	5.171	13.4
2014	E	52.650	3.676	14.3	16.015	1.395	11.5	68.665	5.071	13.5
	F	54.352	3.537	15.4	16.362	1.284	12.7	70.714	4.821	14.7
	M	53.812	3.575	15.1	15.728	1.664	9.5	69.540	5.239	13.3
	A	53.704	3.682	14.6	16.216	1.625	10.0	69.920	5.307	13.2
	M	53.825	3.952	13.6	15.773	1.746	9.0	69.598	5.698	12.2
	J	57.505	3.969	14.5	15.325	1.837	8.3	72.830	5.806	12.5

FUENTE: Coordinación de Estudios Económicos, Gerencia de Estudios, Cámara Chilena de la Construcción

Nota: Las cifras fueron revisadas en el mes de mayo de 2013, en base a la actualización de la metodología de expansión de las cifras nacionales.