



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

MUÑOZ, C.; ZAROR, C.; SAELZER, G.; CUCHÍ, A.

Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social.

Región del Biobío, Chile

Revista de la Construcción, vol. 11, núm. 3, diciembre, 2012, pp. 125-145

Pontificia Universidad Católica de Chile

Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127628821011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

*Study of Energy Flow in the
life cycle of a housing and
its implication on emissions
of greenhouse gases, during
the construction phase
Case Study: Social Typology.
Biobío Region of Chile*

Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile



Autores

- MUÑOZ, C. Universidad del Bío-Bío
clmunoz@ubiobio.cl
Concepción, Chile
- ZAROR, C. Universidad de Concepción
czaror@udec.cl
Concepción, Chile
- SAELZER, G. Universidad del Bío-Bío
gsaelzer@ubiobio.cl
Concepción, Chile
- CUCHÍ, A. Universidad Politécnica de Cataluña
alberto.cuchi@upc.edu
Barcelona, España

Fecha de recepción 17/10/2012

Fecha de aceptación 07/12/2012

Resumen

El siguiente trabajo muestra las implicancias energéticas y medioambientales de una solución habitacional de construcción masiva en Chile.

La metodología utilizada corresponde a una Evaluación de Ciclo de Vida Simplificado, con características sitio específicas para Chile, aplicado al sector edificación.

La unidad funcional definida es el m² de vivienda tipo, para lo cual, se evaluaron los aspectos ambientales referidos al consumo energético y participación en porcentaje de cada una de las partidas, de acuerdo al peso que inciden estas en la vivienda. Se considera además la determinación de la huella de carbono, vinculada a la fase de construcción.

Palabras clave: Ciclo de Vida, Consumo Energético, Emisiones Gases Efecto Invernadero, Vivienda.

Los límites del sistema incluyen la energía incorporada en las fases de fabricación de materiales (usados en fundaciones y envoltentes de viviendas), construcción y fase de uso de una vivienda tipo. No se consideran las fases de desconstrucción o fin de vida.

Como resultados, las primeras aproximaciones indican que el consumo energético utilizado en la etapa de construcción, es despreciable con respecto a otras etapas del ciclo de vida estudiadas. Del mismo modo se identifica que la mayor huella de carbono para la fase de construcción, se asocia a las partidas fundaciones y albañilerías de ladrillo.

Abstract

This paper presents results on energy and environmental implications of construction of a standard social house in Chile. A simplified life cycle assessment approach was used here, in order to identify environmental impacts at different stages in the building life cycle under specific Chilean conditions. One square meter of a standard house was used as the Functional Unit, and energy consumption and material requirements were recorded for all stages. The carbon footprint of the construction phase was also estimated.

manufacturing of building materials used in foundations and enclosures, construction and the house usage phase. Deconstruction or end of life phases were excluded from the system limits under study.

Results indicate that energy consumption during the house construction phase could be neglected as compared with requirements in other life cycle stages. Additionally, manufacturing of housing foundations and bricks accounted for most of carbon footprint

The system limits included all energy requirements related to the

Key words: Life cycle, energy consumption, greenhouse gases emissions, housing.

1. Introducción

Según el Programa para las Naciones Unidas, la construcción sustentable debe constituir una manera de satisfacer las necesidades de vivienda e infraestructura del presente, sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades en tiempos futuros (UNEP, 2010).

La construcción sustentable debiera centrarse en minimizar la cantidad de recursos que consumen actualmente los edificios habitacionales durante su ciclo de vida. Recursos que, en su mayoría, no son renovables y su utilización tiene repercusiones directas en el ambiente, a saber, cargas ambientales a escala local y global. Impactos ambientales que derivan además en impactos sociales y económicos, siendo de este modo la eficiencia en el uso de la energía característico de las construcciones sustentables (Hernández y Meza, 2010).

Según la UNEP, el sector de la construcción, a nivel mundial, contribuye hasta en un 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente por el uso de energía durante la vida útil de los edificios. Por lo tanto, identificar oportunidades para reducir estas emisiones, dentro de la cadena de valor de un edificio, se ha convertido en una prioridad en el esfuerzo mundial para reducir el cambio climático.

En Chile el sector de la construcción tiene un importante papel en la reducción de la demanda energética, ya que según antecedentes de la CNE (2007), el sector comercial, público y residencial representa el 25% del consumo final de energía del país; y dentro de este sector, el residencial representa un 82,8%; el comercial un 14,1% y el público un 3,1% (Trebilcock, 2010).

Con respecto al consumo energético, referido al ciclo de vida de un edificio, puede indicarse, que la fabricación de materiales para construir un metro cuadrado de edificación estándar, puede suponer el consumo de energía equivalente a unos 6.000 MJ. El uso del mismo edificio, en condiciones habituales, durante el periodo de un año (expresado en m²), puede alcanzar los 500 MJ. Considerando la energía de uso del edificio para una vida útil de 50 años y sumándola a la de producción de los materiales, se llega a un valor total de 30.000 MJ/m² o bien 755 litros de gasolina/m² (Wadel *et al.*, 2010).

Algunos investigadores sugieren que el impacto ambiental referido al consumo energético durante la fase de construcción de un edificio es menor, en comparación con la fase de operación. Otros investigadores argumentan que este tema no está bien estudiado y que cuantificar el impacto es necesario para neutralizar dichos efectos (Xiaodong *et al.*, 2009).

Las emisiones de GEI procedentes de la fase de construcción están generalmente relacionadas con la energía incorporada en el edificio y se pueden generar en tres etapas de su ciclo de vida: a) durante la fabricación de materiales, b) durante el transporte de materiales y c) durante la construcción del edificio (Roche, 2010).

La cifra que aportan los materiales de construcción, referidas a las emisiones de GEI, es mayor al 30% de la energía total y del 40% de las emisiones de CO₂ respecto a los producidos en toda la vida útil del edificio, siendo el segundo factor de demanda energética, solamente superado por la calefacción (Zabalza, 2009).

Por todo lo anteriormente descrito, la reducción del impacto medioambiental de los edificios requiere de la aplicación de metodologías de evaluación de impacto adecuadas, de carácter global y local, y que incluyan todas las etapas de la vida útil de un edificio.

Según la Comisión Europea (COM 2003) 302; COM (2005) 666; COM (2005) 670 Y COM 2008) 397, en la actualidad, la metodología Evaluación de Ciclo de Vida (ECV) constituye el mejor marco disponible para evaluar los impactos ambientales potenciales de cualquier producto o actividad, producto o servicio sin límites geográficos, funcionales o temporales, ya que se examinan todos los procesos seguidos por las materias, desde sus extracción, transformación y uso hasta el retorno a la naturaleza en forma de residuos (CIRCE, 2011).

El ECV es por tanto una metodología versátil y útil para disminuir los consumos energéticos y emisiones de GEI del sector construcción, como para establecer las estrategias de mejora medioambiental más adecuadas desde una perspectiva global (Thormark C, 2002; Yohanis, Norton, 2002; Adelberth, 2001; Peuportier, 2001; Sartori, 2007; Zabalza 2010).

En el presente trabajo se muestran resultados sobre el estudio del Flujo Energético en el ciclo de vida de una vivienda (caso estudio) y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), durante la fase de construcción. Adicionalmente, a través de este caso estudio, se pretende ilustrar el uso de la herramienta ECV y su aplicación en sector de la construcción (edificación), con parámetro e indicadores sitio específicos para Chile.

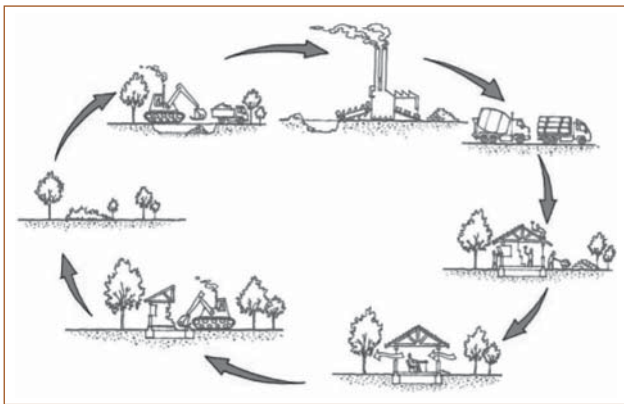
2. Aspectos Teóricos

Según la Norma ISO 21930, un edificio puede ser considerado como un conjunto integrado de productos componentes, los cuales son fabricados, usados y dis-

puestos de acuerdo a su vida útil. Pudiendo indicarse entonces, que un edificio, en sí mismo, corresponde a un *Sistema Producto*.

De acuerdo a la normativa ISO 14.040 – 2006, La ECV es una herramienta de gestión ambiental que estudia los aspectos medioambientales e impactos ambientales durante la vida de un producto (es decir; de la cuna a la tumba), desde la adquisición de la materia prima hasta la producción, uso y disposición. Las categorías de impactos ambientales a considerar incluyen el uso de los recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas (Figura 1).

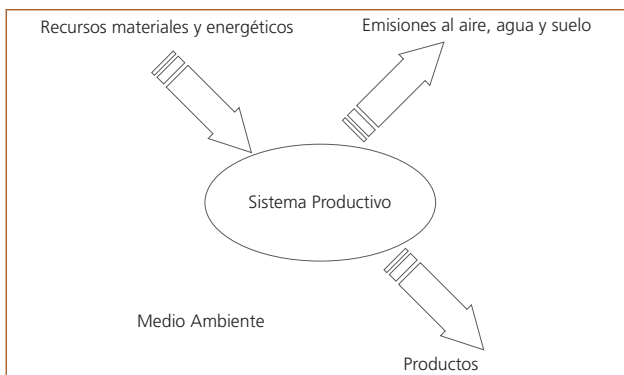
Figura 1. Ciclo de Vida de un producto (Vivienda)



Fuente: Bustamante, 2009.

El principio normativo ISO 14.040 – 2006, indica que, un *sistema producto* es un conjunto de *procesos unitarios*, conectados por flujos de productos intermedios que realizan una o más funciones definidas (Figura 2).

Figura 2. Sistema Producto - Cargas Ambientales

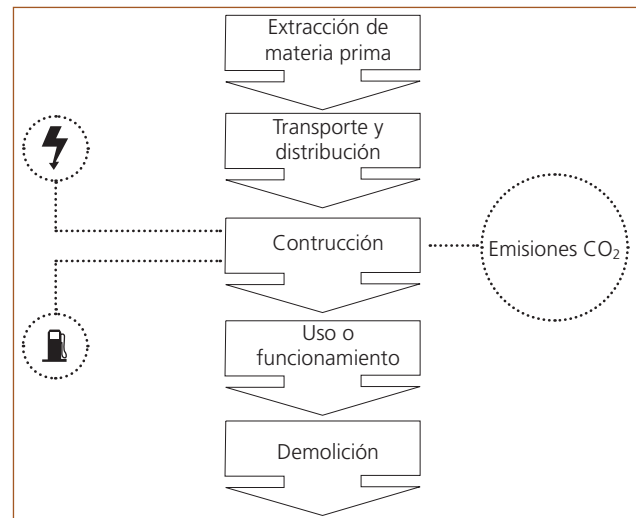


Fuente: ISO 14.040 – 2006.

Los sistemas productos se subdividen en grupos de procesos unitarios. Dividir un *sistema producto*, en sus correspondientes procesos unitarios facilita la identificación de las entradas (Ej.: energía, materias primas, etc.) y salidas del producto (Ej.: emisiones), en cada una de las fases del proceso.

Para una mejor comprensión y vinculación de los conceptos mencionados, con los objetivos de la investigación, se precisa que: El *Sistema Producto* corresponde a la vivienda estudiada y el *proceso unitario* estaría dado, por la fase de construcción de la misma (considerando las partidas que esta fase involucra) (Figura 3).

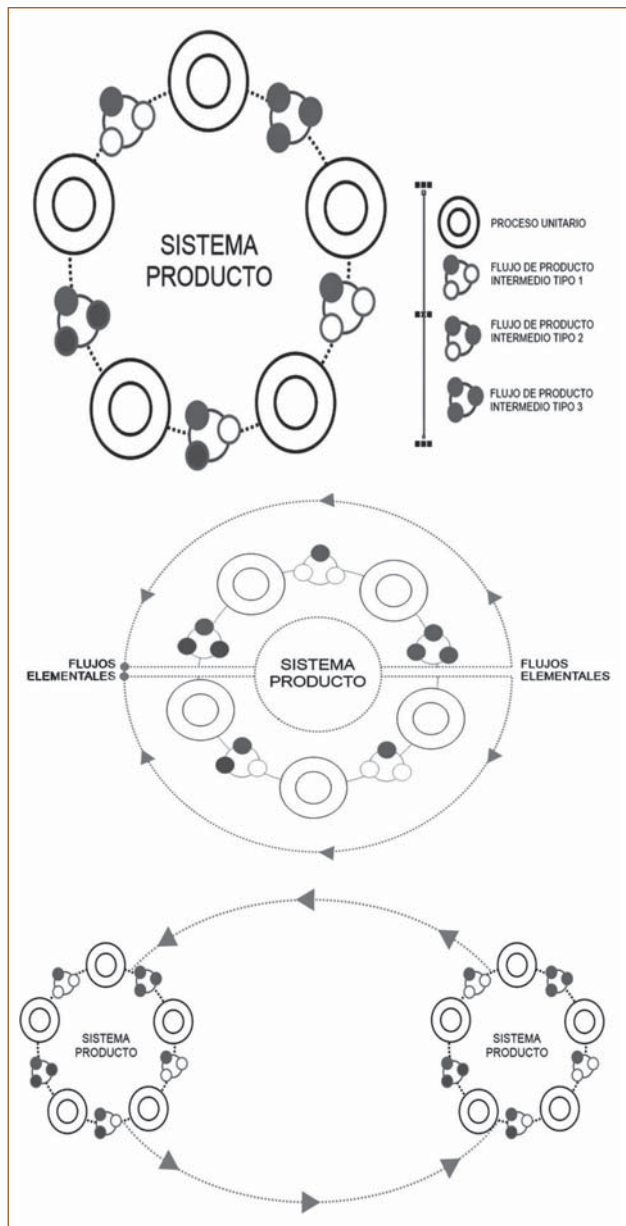
Figura 3. Ejemplo de un grupo de procesos unitarios para un ECVs de una vivienda



Fuente: Elaboración propia.

Los *procesos unitarios*, a su vez, están relacionados entre sí, mediante flujos de productos intermedios y con el medio ambiente a través de flujos elementales (material o energía que ingresa o sale del sistema en estudio sin transformación humana subsecuente) (Figura 4).

Figura 4. Relación de sistema producto con procesos unitarios interrelacionados por flujos intermedios y elementales, con el medio ambiente.



Fuente: Elaboración propia.

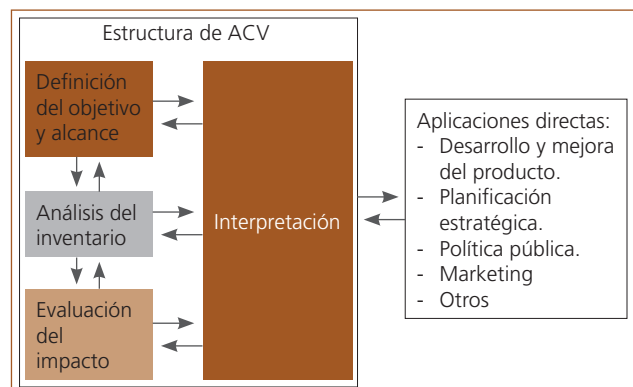
La metodología general ECV, consta de cuatro fases, siendo posible realizar estudios simplificados, en los que se elimine una de ellas (Figura 5):

- Definición de objetivos y alcance, donde se establece la finalidad del estudio, los límites del sistema y los datos necesarios para la Evaluación.

- Análisis del Inventario, donde se cuantifican todos los flujos de energía y de materiales que entran y salen del sistema durante toda su vida útil.
- Evaluación de Impactos, donde se realiza una clasificación y evaluación de los resultados del inventario, relacionándolos con efectos ambientales observables, a través de un conjunto de categorías seleccionadas.
- Interpretación de Resultados, donde los resultados de las fases precedentes son analizados conjuntamente en consonancia con los objetivos del estudio, con el objeto de establecer las conclusiones y recomendaciones finales.

Al respecto para el caso estudio, se considera una ECV simplificada, ya que solo se considerará las dos primeras fases de las anteriormente mencionadas.

Figura 5. Fases de la evaluación del ciclo de vida – ISO 14.040 2006



Fuente: ISO 14.040 - 2006

3. Descripción Metodológica

El objetivo y alcance del estudio, es la identificación de las entradas energéticas y aspectos ambientales en la etapa de construcción de la vivienda caso estudio, y además comparar el consumo energético de esta etapa con otras tales como la obtención de materias primas y la de operación o uso, de manera de clasificar la importancia en la ECV de la vivienda estudiada

Justificación Caso Estudio: Por tratarse de “Sistema Producto” de construcción masiva y para el desarrollo de la investigación, se trabajó como caso estudio, con una unidad habitacional correspondiente a una vivienda social, pareada de dos pisos (primer nivel de albañilería y segundo nivel de madera), y es parte de

un conjunto habitacional de 225 viviendas sociales, ubicado en la Región del Biobío, Chile.

La investigación consideró las siguientes actividades:

- Cuantificación de la cantidad de obra de la vivienda (de acuerdo a planos y especificaciones técnicas).
- Identificación de máquinas y equipos utilizadas en proceso de ejecución de la vivienda estudiada (Superestructura y envolvente)
- Contabilización de las entradas de energía combustible y eléctrica.
- Determinación Huella de Carbono.

La medición de los datos se efectuó por medio de rendimientos reales de terreno, con lo cual se evaluó el tiempo utilizado del equipo o herramienta en construir 1 m² de edificación.

Finalmente, se obtuvo la huella de carbono generada hasta el término del proyecto, esto vinculado al consumo eléctrico y consumo de los combustibles fósiles ocupados en la fase de construcción de la vivienda estudiada.

3.1. Evaluación Ciclo de Vida (ECV)

La metodología utilizada obedece al principio normativo ISO 14040 – 2006. Evaluación del Ciclo de Vida.

La unidad funcional, que define la cuantificación de las funciones identificadas, corresponde a 1 m² de vivienda de caso estudio.

Como flujo de referencia, correspondiente a la medición de la cantidad de producto que se necesita para cumplir la función, en este caso flujo energético del sistema en estudio, corresponde a 1 MJ.

Para este estudio se modeló, el proceso unitario llamado “Construcción del producto” en el que se estudiaron los consumos de energía combustible y eléctrica (entradas) y la huella de carbono que fue emitida de la energía combustible y eléctrica (salidas). Los límites de este proceso comenzaron con el trazado de la vivienda y terminó con la envolvente de la vivienda edificada.

Entre las consideraciones relevantes, se tiene: Entradas de la secuencia principal de construcción (vivienda), transporte interno de los materiales desde la zona de acopio a la vivienda en construcción, transporte externo solo para camiones mixer (partida de hormigones), estimación en promedio del tiempo utilizado por equipos y herramientas, uso de combustibles y electricidad de las máquinas y equipos utilizados en

la envolvente de la vivienda, las emisiones de CO₂ producidas por los combustibles fósiles y electricidad, entre los más relevantes.

Para el estudio no se consideró: el uso y mantenimientos de los equipos y máquinas, disposición de productos y residuos de proceso, recuperación de productos usados, excepto si es parte fundamental de algún proceso unitario, manufactura de materiales auxiliares, manufactura, mantenimiento y desmantelamiento de equipo principal, operaciones adicionales, tales como iluminación y calefacción, la energía utilizada por el hombre, entre los más relevantes

De acuerdo al objetivo planteado en este estudio, la categorización de los datos fue energética. Se realizó esta descripción en dos grandes grupos; la de combustibles y la de electricidad.

Como criterio para las entradas y salidas del *Sistema Producto* en estudio, fueron considerados, los *inputs* energéticos (también se consideró la masa de los componentes de la vivienda) y emisiones de GEI, identificados, para cada uno de los procesos unitarios evaluados

Con respecto a los requisitos de la calidad de los datos utilizados en el estudio, desde el punto de vista de la cobertura temporal, el período de tiempo, durante el cual se recolectaron los datos fueron 2 meses. Con respecto a la cobertura geográfica, se consideró una situación sitio específica (Región del Biobío), en la cual se recogieron los datos del proceso unitario (etapa de construcción). Finalmente para las consideraciones tecnológicas, los equipos, máquinas y herramientas fueron considerados en su óptimo funcionamiento, de manera de representar el mayor consumo esperado.

3.2. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

Un análisis de inventario de ciclo de vida (ICV) está relacionado con la recolección de datos y los procedimientos de cálculo, para cuantificar las entradas y salidas relevantes de cada uno de los procesos unitarios que forman parte del Sistema Producto Analizado.

Se trata de realizar un balance de flujos elementales que entran y salen del sistema a lo largo de toda su vida útil para la unidad funcional seleccionada.

Para la recolección de datos se consideró que el proceso unitario comienza desde que los materiales se encuentran acopiados en obra y termina, cuando la vivienda se encuentra con su envolvente terminada.

Con respecto a los procedimientos de cálculo, existe una variada gama de procesamiento y almacenamiento de datos la que va, desde una simple planilla de cálculo, hasta complejos sistemas computacionales como SimaPro, dedicados especialmente a ECV. Para el caso estudio, los datos fueron procesados utilizando planillas excel y base de datos Ecoinvent.

Para el cálculo de la Huella de Carbono, se utilizaron los valores típicos de contenido másico de carbono (%C), poder calorífico inferior (PCI) y emisión de CO₂ específica frecuente (Tabla 1).

Tabla 1. Datos para el cálculo de Huella de Carbono

	%C	PCI (MJ/kg)	Kg CO ₂ /kg Combustible
Gas natural	75	48	2,75
Gas licuado	82	47	3,01
Gasolina	85	45	3,12
Diésel	85	42	3,12
Fuel Oil	85	40	3,12
Carbón mineral	68-75	26-32	2,49.2,75
Madera seca	50	17	1,83

Fuente: Zaror, 2010.

Durante el proceso de recolección de los datos, se establecieron balances de energía, y análisis comparativos de factores de emisión de los combustibles.

Para la validación de los datos se utilizaron datos secundarios como el consumo de combustible/mes de los equipos de la obra y también, se utilizó la simulación del software Sima Pro, con el que también se obtuvieron los resultados energéticos de la fase de Construcción de la vivienda.

Para cada proceso unitario de este estudio, se determinó un flujo de referencia apropiado, el cual corresponde a 1 MJ construido. Este flujo debe ser constante para los datos cuantitativos de entrada y salida.

Es relevante destacar que como criterio de refinación de datos, para la evaluación del caso estudio, se dejó sin considerar aquellas entradas (energías combustible o eléctrica) de aquellos procesos constructivos, que utilizaron menos del 1 % de la energía total consumida en la fase de construcción.

Tabla 2. Resumen datos totales de: Peso (kg), Energía Contenida (MJ), Consumo Energético Eléctrico y Combustible (MJ) y Huella de carbono (kg CO₂) de la fase de construcción.

Resumen	m ²	Peso (kg)	Energía contenida (mj)	Consumo energético eléctrico (mj)	Consumo energético combustible (litros)	Huella de carbono (kg CO ₂) por electricidad.	Huella de carbono (kg CO ₂) por combustibles	Total kg CO ₂
Trazado	22,33	5,2	25,3	0,143	0,00	0,00006	0,00	0,00
Fundaciones	36,80	16.376,4	10.794,4	7,998	9,37	0,00320	29,22	29,23
Moldajes	53,17	335,5	1.795,5	4,103	0,00	0,00164	0,00	0,00
Albañilería y estructura	36,55	19.914,7	95.255,5	11,678	7,27	0,00467	22,68	22,68
Losa	23,11	10.837,4	18.626,5	1,817	3,09	0,00073	9,63	9,63
Tabiquería exterior	31,87	937,8	3.845,2	0,662	0,00	0,00026	0,00	0,00
Estructura techumbre	19,00	538,2	6.200,0	1,856	0,00	0,00074	0,00	0,00
Aislación	32,35	93,1	11.096,9	0,000	0,00	0,00000	0,00	0,00
Puertas	7,00	195,5	2.814,4	0,457	0,00	0,00018	0,00	0,00
Revest. Exterior	36,42	389,9	5.787,2	2,658	0,00	0,00106	0,00	0,00
Revest. Interior	35,67	141,3	687,2	0,369	0,00	0,00015	0,00	0,00
Ventanas	4,96	7,0	1.124,0	0,227	0,00	0,00009	0,00	0,00
Vidrios	4,96	67,0	1.272,2	0,000	0,00	0,00000	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Resumen de las cantidades de Peso (kg), energía contenida (MJ), consumo energético eléctrico y combustible (MJ) y la Huella de carbono (kg CO₂) por m² de construcción de la vivienda por partidas

		Peso (kg)	Energía contenida	Consumo energético eléctrico	Consumo energético combustible (litros)	Huella de carbono (kg CO ₂) por electricidad.	Huella de carbono (kg CO ₂) por combustibles	Total kg CO ₂
Resumen	m ²	kg/m ²	Mj/m ²	Mj/m ²	Litros/m ²	Kg CO ₂ /m ²	Kg CO ₂ /m ²	Total kg CO ₂ /m ²
Trazado	22,33	0,23	1,13	0,006	0,00	0,00000	0,00	0,00
Fundaciones	36,80	445,01	293,33	0,217	0,25	0,00009	0,79	0,79
Moldajes	53,17	6,31	33,77	0,077	0,00	0,00003	0,00	0,00
Albañilería y estructura	36,55	544,86	2.606,17	0,319	0,20	0,00013	0,62	0,62
Losa	23,11	468,95	805,99	0,079	0,13	0,00003	0,42	0,42
Tabiquería exterior	31,87	29,42	120,64	0,021	0,00	0,00001	0,00	0,00
Estructura techumbre	19,00	28,33	326,32	0,098	0,00	0,00004	0,00	0,00
Aislación	32,35	2,88	343,03	0,000	0,00	0,00000	0,00	0,00
Puertas	7,00	27,93	402,06	0,065	0,00	0,00003	0,00	0,00
Revest. Exterior	36,42	10,71	158,90	0,073	0,00	0,00003	0,00	0,00
Revest. Interior	35,67	3,96	19,27	0,010	0,00	0,00000	0,00	0,00
Ventanas	4,96	8,13	1.300,93	0,263	0,00	0,00011	0,00	0,00
Vidrios	4,96	13,50	256,50	0,000	0,00	0,00000	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Resumen de la participación de porcentajes por cada partida constructiva de la vivienda Tipo FSV, Villa Llacolén

Resumen	m ²	% Participación en peso (kg)	% Participación energía contenida (mj)	% Participación consumo energético eléctrico (mj)	% Participación consumo energético combustible (litros)	% Participación de la huella de carbono (kg CO ₂)
Trazado	22,33	0,01	0,02	0,45	0,00	0,00
Fundaciones	36,80	32,86	6,78	25,02	47,50	47,49
Moldajes	53,17	0,67	1,13	12,84	0,00	0,00
Albañilería y estructura	36,55	39,96	59,79	36,53	36,86	36,86
Losa	23,11	21,74	11,69	5,68	15,65	15,65
Tabiquería exterior	31,87	1,88	2,41	2,07	0,00	0,00
Estructura techumbre	19,00	1,08	3,89	5,81	0,00	0,00
Aislación	32,35	0,19	6,96	0,00	0,00	0,00
Puertas	7,00	0,28	0,43	1,43	0,00	0,00
Revest. Exterior	36,42	0,78	3,63	8,32	0,00	0,00
Revest. Interior	35,67	0,39	1,77	1,15	0,00	0,00
Ventanas	4,96	0,01	0,71	0,71	0,00	0,00
Vidrios	4,96	0,13	0,80	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados y Discusión

4.1. Resultados

En primer lugar, se muestran los datos obtenidos del estudio teórico realizado, correspondiente al peso de los materiales utilizados en cada una de las partidas mencionadas y su representatividad en energía contenida de estos. La base de datos utilizada para la cuantificación de esta energía fue la base de datos de BEDEC. Además se presentan los datos que se determinaron del trabajo de campo realizado, perteneciente al cálculo estimado de energía consumida en la etapa de construcción de la vivienda en estudio, de la cual se establece su respectiva huella de carbono emitida al ambiente (Tabla 2).

En Tabla 3, se muestran los resultados resultantes tanto para las fases de obtención y fabricación de materias primas, como de construcción que entran por m² de vivienda construida. Del mismo modo se muestra la cantidad de huella de carbono emitida al ambiente con Potencia de Calentamiento Global.

Dentro de los resultados relevantes, se muestra un resumen, con las partidas con mayores porcentajes de participación en el peso total de la vivienda; en la energía contenida de los materiales; en el consumo energético. Producto de la construcción de la vivienda y la huella de carbono asociada a ello (Tabla 4).

4.2. Discusión y Análisis Gráfico

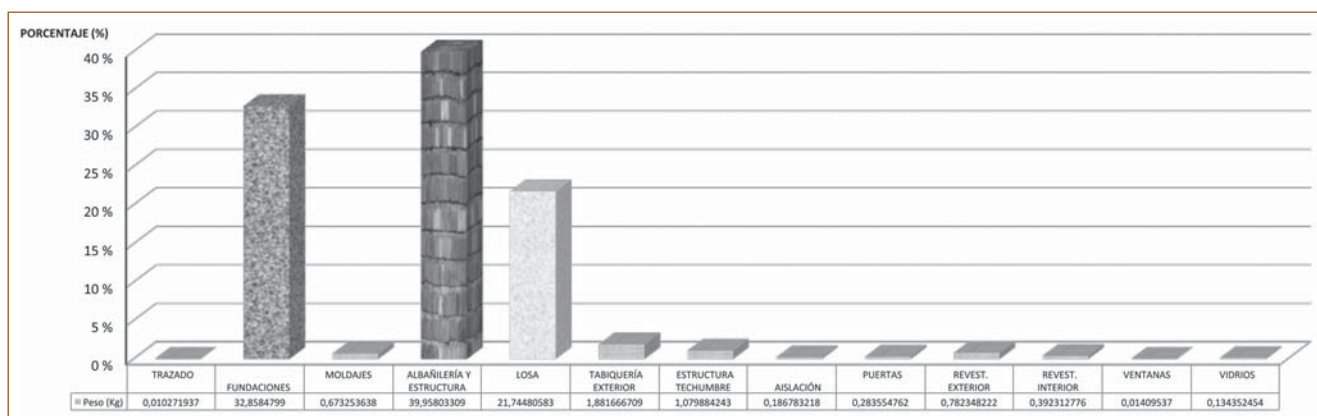
A continuación se muestra un completo análisis gráfico, que resume todos los resultados de la investigación. Se comenzará explicando cada una de las gráficas correspondientes a la participación en porcentaje de cada una de las partidas de acuerdo al peso que inciden estas en la vivienda (Gráfico 1), como también el porcentaje de energía contenida que cada material entrega a una determinada partida (Gráfico 2). Asimismo el porcentaje del consumo energético, ya sea eléctrico o combustible utilizado para la construcción de las partidas evaluadas de la vivienda (Gráfico 3). Por último, se muestra la participación porcentual de la huella de carbono emitida por la energía consumida en la fase de construcción (Gráfica 4).

Se visualizan los gráficos comparativos en unidad por m² de vivienda de cada una de las partidas evaluadas (Gráficos 5, 6 y 7).

4.2.1. Distribución porcentual participación en peso

El gráfico 1, indica que las partidas de la vivienda con mayor peso corresponden a la partida de albañilería y estructura con un 39,9 % del total de las partidas en estudio; la partida de fundaciones con un 32,9 % y la partida referida a losa con un 21,7 %.

Gráfico 1. Distribución porcentual de la participación en peso (kg) de las partidas de fundaciones y envolvente de la vivienda tipo



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Distribución porcentual – Energía Contenida

El gráfico 2, nos presenta la energía contenida de los materiales que componen cada partida estudiada. Tenemos que la partida con una mayor energía contenida representa al 59,8 % del total de ellas, refiriéndose a la albañilería de ladrillo y estructura; luego la sigue la partida losa con 11,7 % y en tercer lugar se encuentra aislación con 7 %.

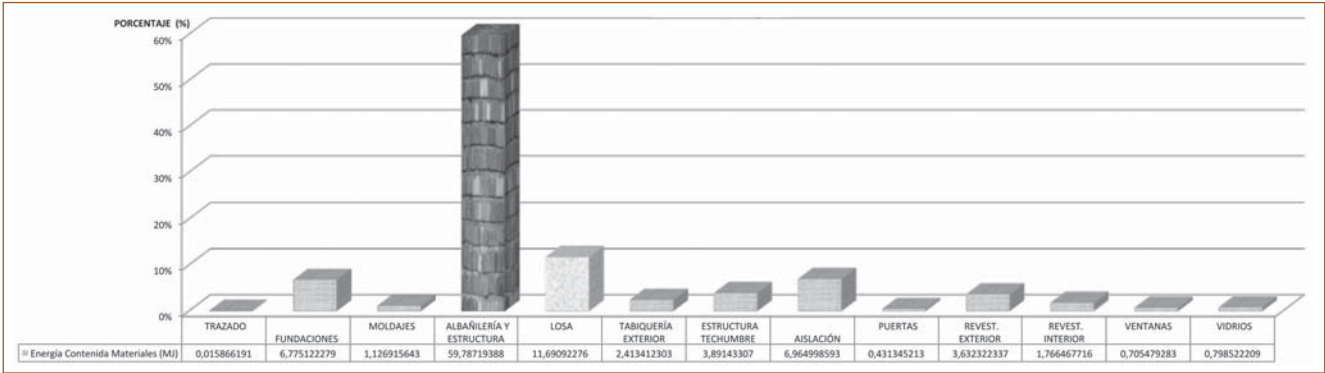
4.2.3 Distribución porcentual consumo energético – Máquinas y Equipos

El gráfico 3, nos muestra la relación porcentual de los consumos energéticos producidos por máquinas

y equipos utilizados en la fase de construcción de las distintas partidas de la vivienda en estudio. Se observa que el más alto porcentaje está asociado a las partidas de albañilería y estructura con un 36,5 %, después tenemos a la partida fundaciones con un 25 % y por último a moldajes con un 12,8 %.

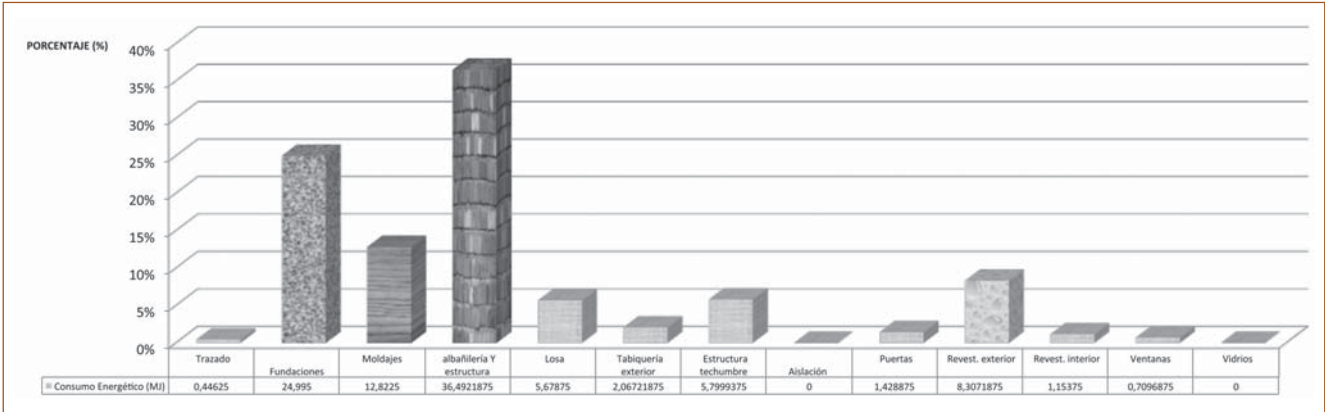
En gráfico 4, se hace referencia a aquellas partidas donde se producen consumos energéticos a través de combustibles. Dentro del estudio encontramos tres partidas, con este tipo de consumo: partida de fundaciones, la cual posee el más alto porcentaje con un 47,5 %, lo sigue la partida de albañilería y estructura con un 36,7 % y por último tenemos la partida de losa con un 15,7 %.

Gráfico 2. Distribución porcentual en participación de energía contenida (MJ) en las partidas de fundaciones y envolvente de la vivienda tipo



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3. Distribución porcentual en participación del consumo energético eléctrico (MJ) en las partidas de fundaciones y envolvente de la vivienda tipo



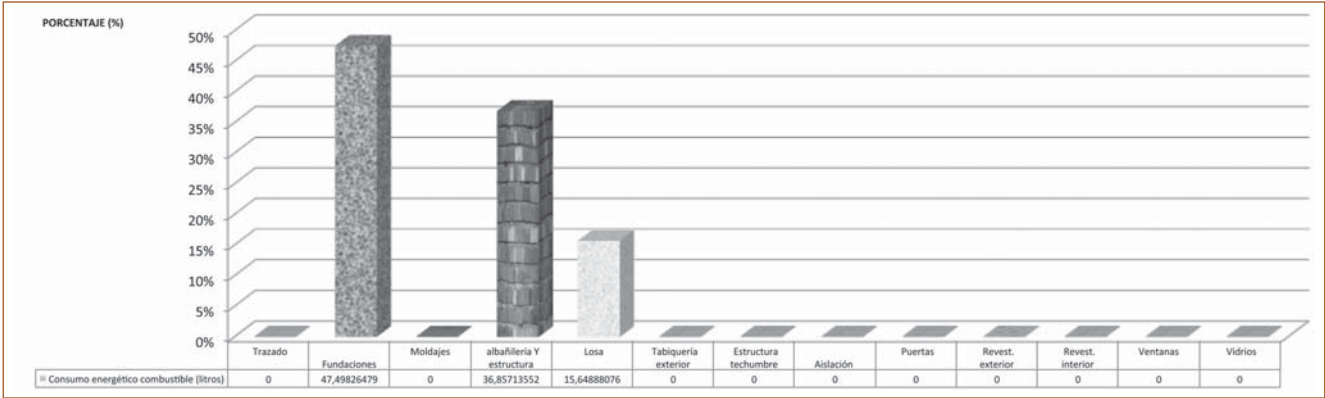
Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Distribución porcentual – Huella Carbono

Con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el gráfico 5 nos indica que el 47,5 %

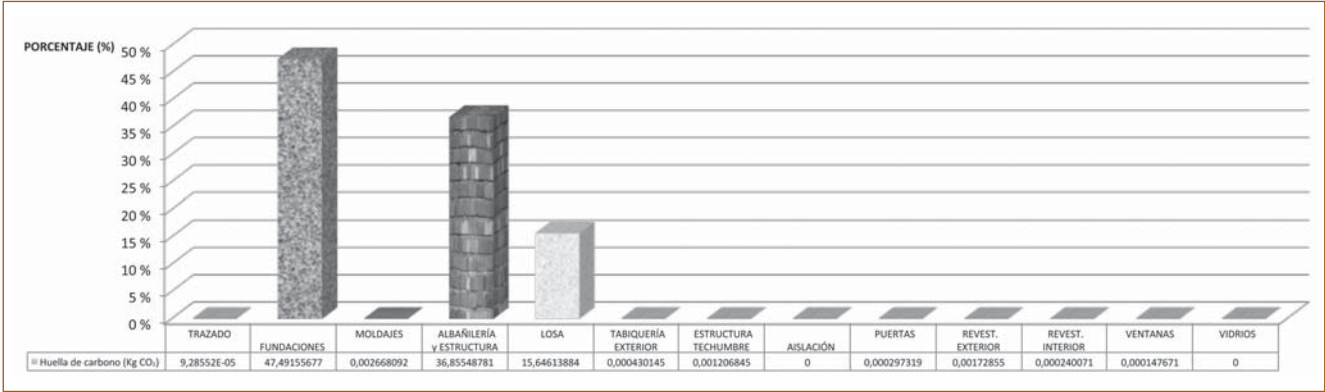
de la huella de carbono, es decir, la mayor emisión de CO₂ se produce en la etapa de fundaciones, lo sigue la etapa de hormigones y albañilería con un 36,9 % y termina con la partida de losa con un 15,7 %.

Gráfico 4. Distribución porcentual en participación del consumo energético combustible (MJ) en las partidas de fundaciones y envoltante de la vivienda tipo.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5. Distribución porcentual en participación de la huella de carbono (Kg CO₂) producida por el consumo de energías (eléctrica y combustible) en las partidas de fundación y envoltante de la vivienda tipo



Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Distribución porcentual entre el peso (kg) y energía contenida (MJ)

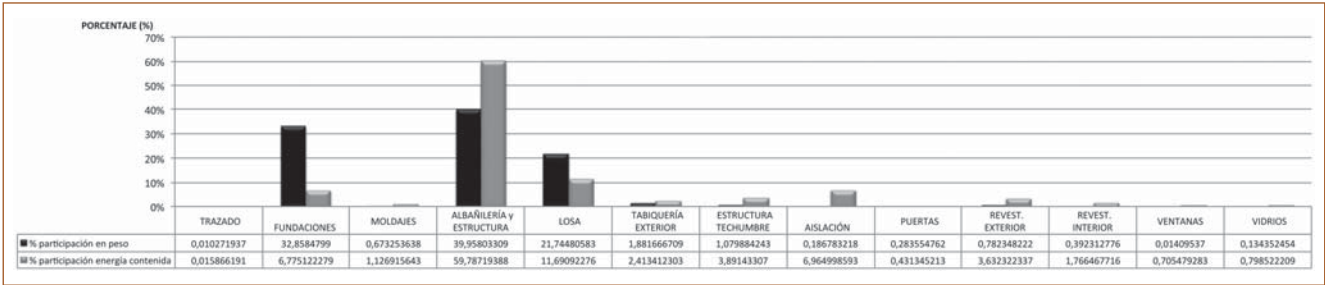
A partir de la información entregada en gráficos 6 y 7, puede desprenderse que la relación entre el peso no es directamente proporcional a la energía contenida en los materiales de cada partida investigada, esto quiere decir que no aumenta la energía contenida con un mayor peso, ya que este aumento depende del factor de emisiones de los combustibles que se utilizaron para su fabricación. Por ejemplo, la partida de fundaciones posee porcentaje en peso de la vivienda de 32,9 % y su energía contenida es tan solo de un 6,8 % en esa etapa. Por el contrario la partida de aislación posee un porcentaje del 0,2 % de peso en la vivienda, lo cual

es muy bajo, pero su energía contenida es de 7 %, algo nada despreciable, estableciéndose en el cuarto porcentaje más alto de la vivienda.

La relación importante entre el peso y la energía contenida de un material radica en cuanto es el consumo en la fase de extracción y fabricación de materias primas dentro de la ECV.

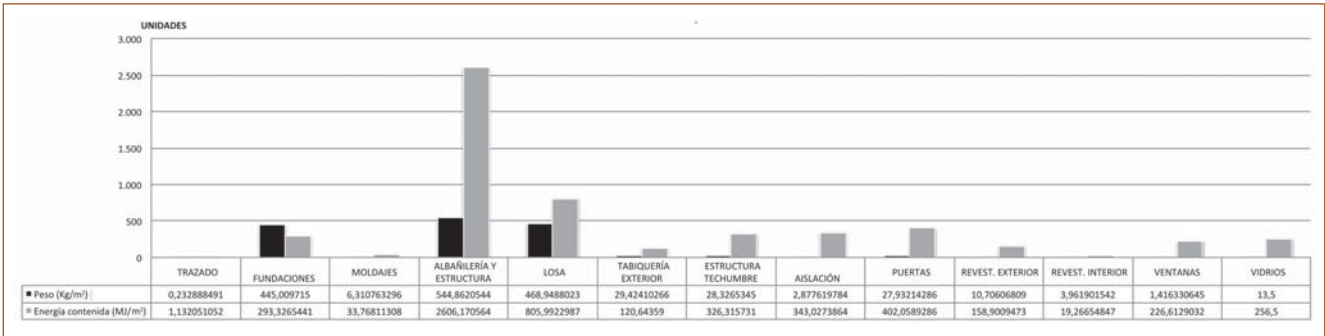
Esto nos señala que pudiéramos estar construyendo una vivienda totalmente eficiente para su uso, pero en cuanto a la eficiencia en la producción de sus materiales no lo es, lo que aumentaría considerablemente su huella de carbono en un estudio de ECV simplificado.

Gráfico 6. Distribución porcentual comparativa entre el peso (kg) v/s la energía contenida (MJ) de las partidas de fundación y envoltante de la vivienda tipo



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7. Distribución porcentual comparativa entre el peso (kg/m²) v/s la energía contenida (MJ/m²) de las partidas de fundación y envoltante de la vivienda tipo



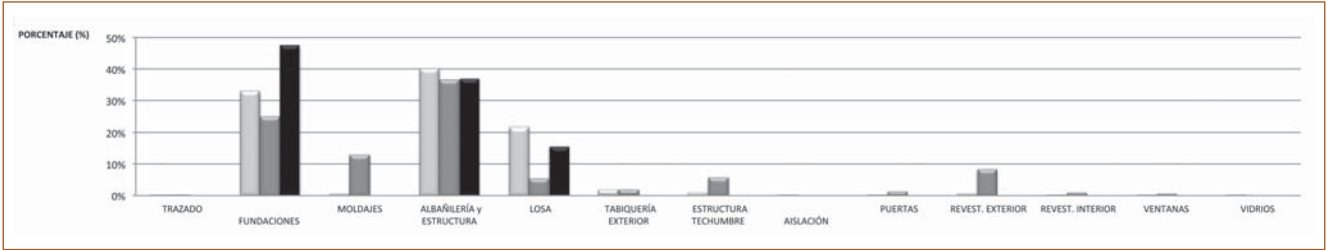
Fuente: Elaboración propia.

4.2.6 Distribución comparativa entre el peso y el consumo energético – Fase Construcción

La información entregada en la gráficas 8 y 9, señala que la mayor relación entre estos dos consumos es que a mayor peso de la partida debe haber un mayor consumo energético para la construcción de esos kilos, en metros cuadrados. Esto, ya que un mayor peso

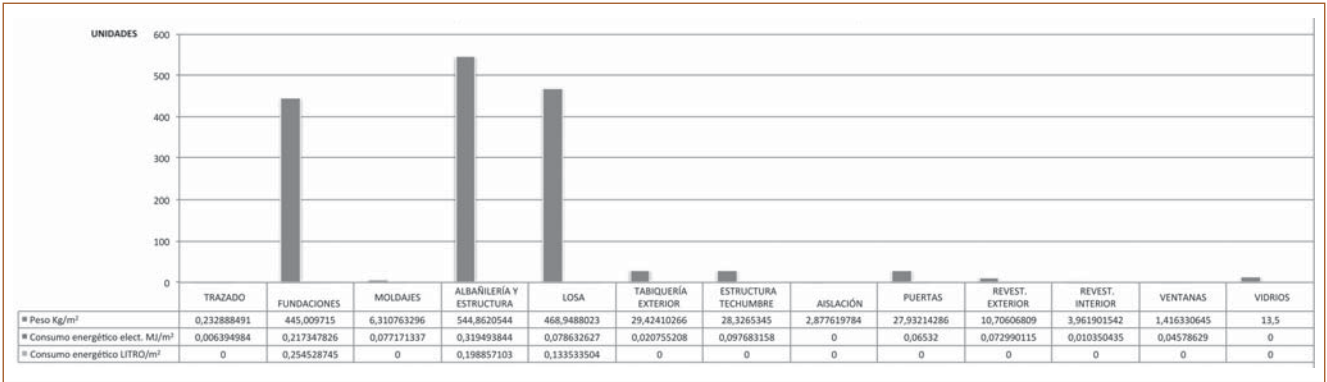
entrega la necesidad de mayor cantidad de equipos para realizar una determinada actividad por ejemplo, la partida de losa (hormigón), requiere de un camión mixer, un vibrador y una allanadora para ejecutar su realización. Además una mayor cantidad de obra está directamente relacionada con el tiempo que se utiliza una máquina o equipo.

Gráfico 8. Distribución porcentual comparativa entre el peso (kg) v/s el consumo energético (MJ y litros) durante la construcción de la vivienda tipo



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9. Distribución comparativa entre el peso (kg/m²) de los materiales v/s el consumo eléctrico (MJ/m²) y combustible (litro/m²) producido durante la construcción de la vivienda tipo



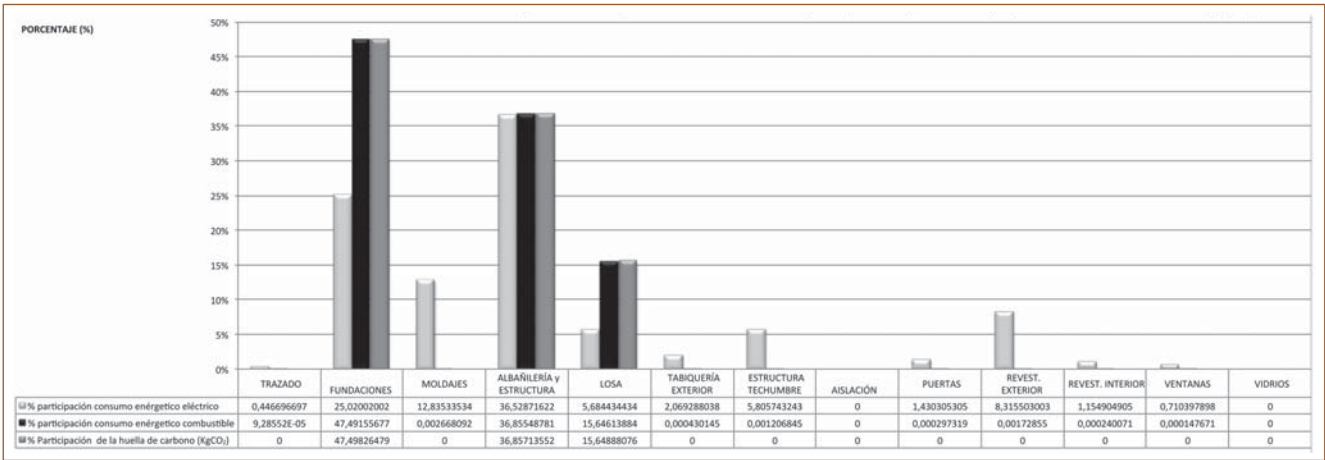
Fuente: Elaboración propia.

4.2.7 Consumo Energético Eléctrico y Combustible v/s la huella de carbono

El análisis del gráfico 10 nos indica que la energía consumida por los equipos eléctricos produce un muy bajo impacto ambiental, desde el punto de vista energético (Potencial de Calentamiento Global), esto quiere decir que su huella de carbono emitida es muy baja, llegando a ser casi imperceptible para el estudio de tan solo una vivienda. Por lo anterior, no debemos pensar que este consumo es insignificante, ya que al multiplicar este valor por miles de viviendas, que son y serán construidas, revelará que el impacto puede ser notorio. Por ejemplo, la partida de “puertas” utiliza un 8,32 % del consumo total eléctrico y su emisión al ambiente es de 0,0002 kg CO₂.

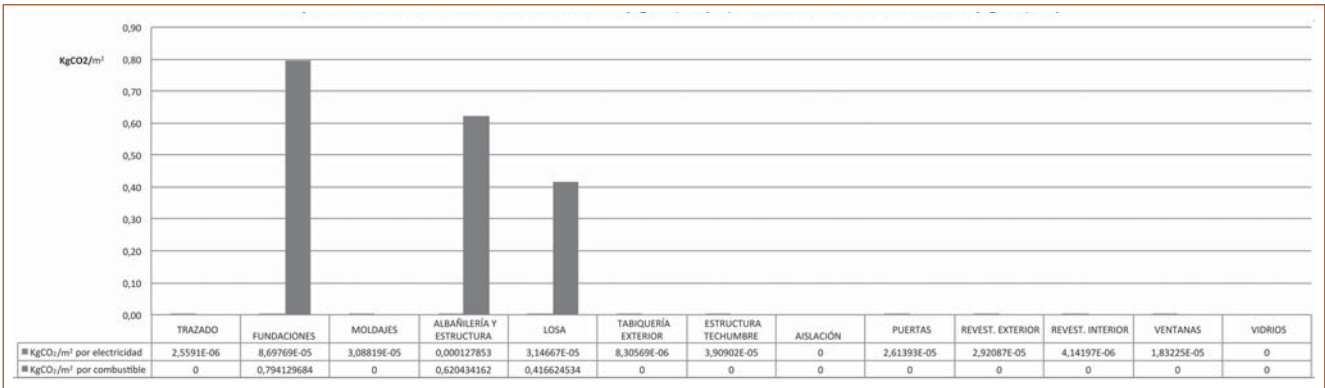
Con respecto al consumo del combustible utilizado por las máquinas y equipos del caso estudio, se puede deducir que está relacionado directamente con el porcentaje de emisiones a la atmósfera, que se investigó. Como podemos ver, el porcentaje utilizado en las partidas de fundaciones, albañilería y estructura y losa, es muy similar (aumento a partir del 0,001 kg CO₂ por parte del consumo eléctrico). Con esto se concluye que el consumo de combustibles provoca la mayor cantidad de Dióxido Carbono emitido a la atmósfera, por lo tanto se debe tener presente, el uso de este tipo de energía en la fase de construcción de una obra de edificación. Para concluir, se puede decir que el consumo de combustible está directamente relacionado con el índice de huella de carbono emitida por la vivienda en la fase de construcción (gráfico 11).

Gráfico 10. Distribución porcentual comparativa entre el consumo energético (eléctrico y combustible) (MJ) v/s su huella de carbono emitida (Kg CO₂/m²)



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11. Distribución comparativa entre la huella de carbono (kg CO₂/m²) v/s huella de carbono combustible (kg CO₂/m²)

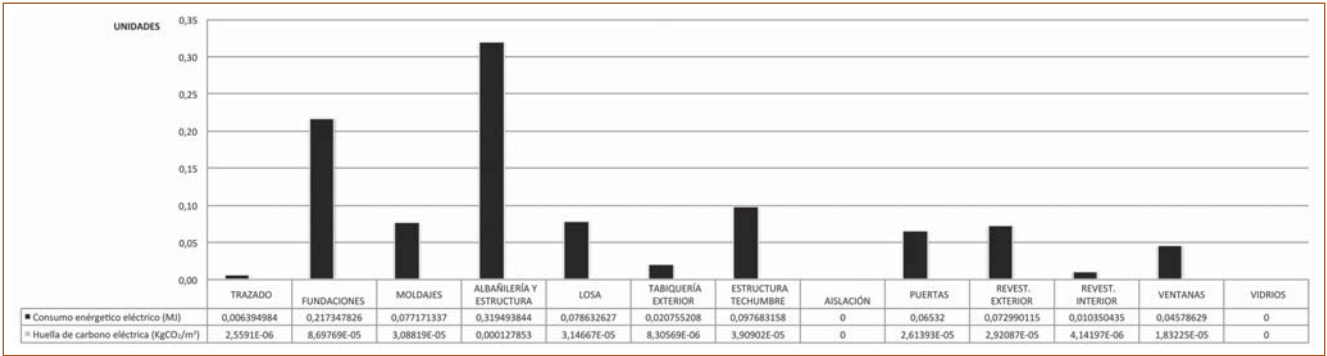


Fuente: Elaboración propia

Como muestra el gráfico 12, existe un alto consumo de energía eléctrica en casi todas las partidas, no obstante las emisiones de Dióxido de Carbono a la atmósfera, son bajas. Esto ocurre ya que la matriz energética del Sistema Interconectado Central (SIC) es en su mayoría hidroeléctrica (de bajo consumo de emisiones, “energía limpia y renovable”), la cual produce entonces un factor de emisión muy bajo.

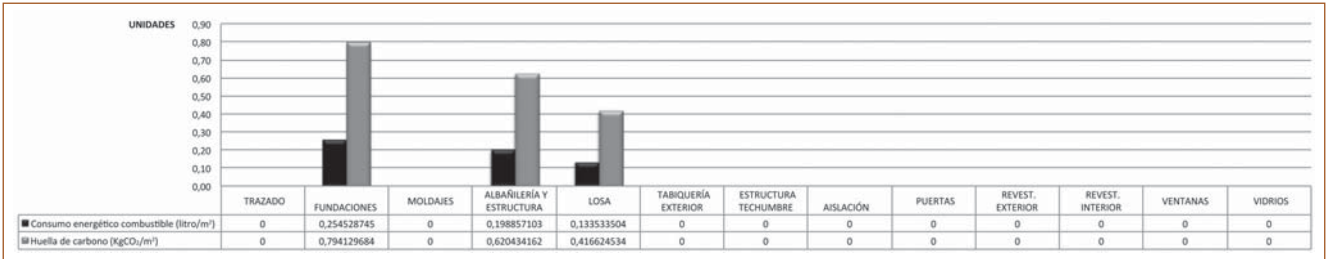
El gráfico 13 asocia las emisiones de CO₂ al consumo de combustible por m² de vivienda. Se puede deducir, que los combustibles fósiles son el gran causante de los impactos ambientales (Potencial de Calentamiento Global) provocados por la etapa de construcción de la vivienda. Están directamente relacionadas, la mayor consumo de combustible, mayores son las emisiones de CO₂ al ambiente.

Gráfico 12. Distribución comparativa entre el consumo energético eléctrico (MJ/m²) v/s su huella de carbono emitida (kg CO₂/m²)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 13. Distribución comparativa entre el consumo combustible (litros/m²) de los materiales y su huella de carbono emitida (kg CO₂/m²) durante la fase de construcción de la vivienda tipo



Fuente: Elaboración propia.

4.2.8 Distribución porcentual comparativa entre materiales y fase de construcción

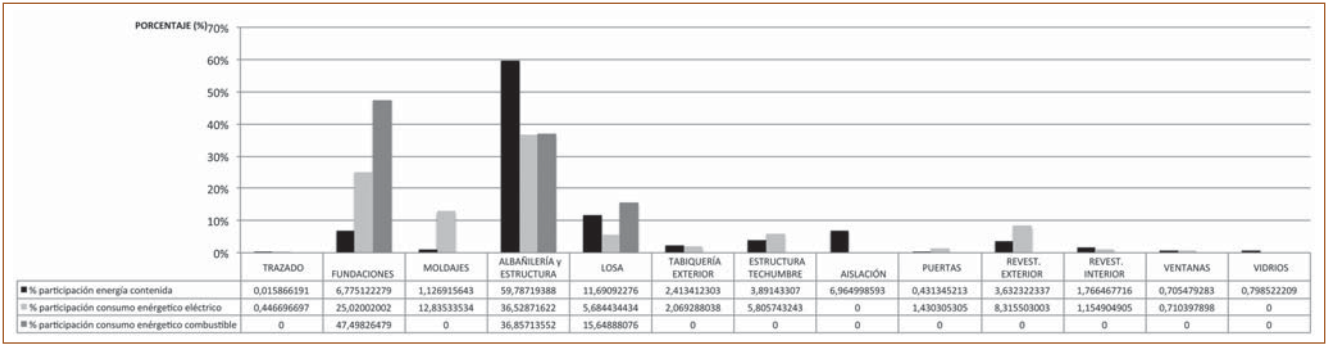
Se muestra en la gráfica 14, que la relación entre estas dos fases de la evaluación del ciclo de vida (la fase extracción y fabricación de materias primas y la fase de construcción del producto) casi no se relacionan entre sí.

Una manera de relacionar estas fases sería: producir materiales que requieran de una simple instalación (como los elementos prefabricados), lo que ayudaría a disminuir el consumo de energía en la etapa de construcción, sin embargo esto no significa que el impacto

en ECV completo de la vivienda haya disminuido, ya que al haber confeccionado un elemento con nuevas características, son estas últimas las que pudieran aumentar la energía contenida del material y disminuir la consumo de energía en la etapa de construcción.

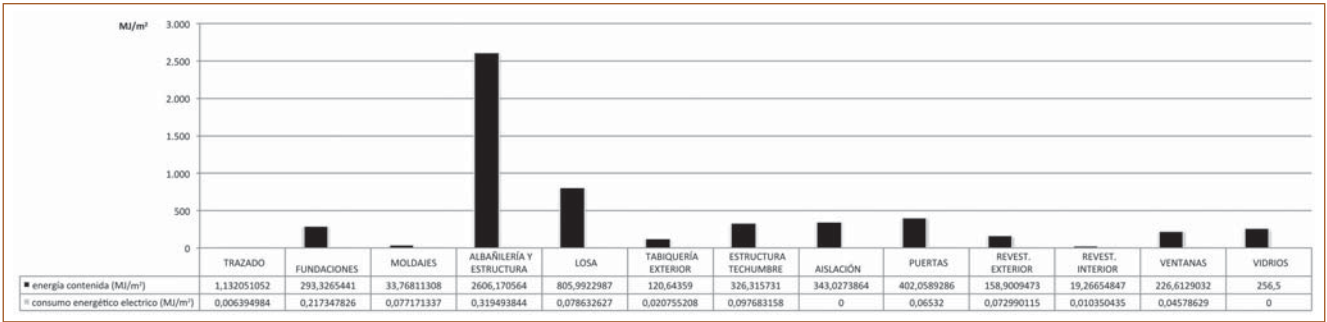
Como se ve en el gráfico 15 la relación entre energía contenida (MJ/m^2) y el consumo energético eléctrico (MJ/m^2) es casi incomparable. Tal nivel de diferencia en los resultados se debe a que la incidencia en uso de energía renovable (electricidad proveniente del Sistema Interconectado Central) posee un bajo factor de emisión (caso Región del Biobío).

Gráfico 14. Distribución porcentual comparativa entre la energía contenida (MJ/m^2) de los materiales v/s el consumo energético (eléctrico MJ/m y combustible litros/ m^2) requerido para la construcción de la vivienda tipo



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 15. Distribución comparativa entre la energía contenida (MJ/m^2) de los materiales v/s el consumo energético eléctrico (MJ/m^2) requerido para la construcción de la vivienda tipo



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Resumen global de la ECV de la vivienda en estudio (de la cuna a la tumba)

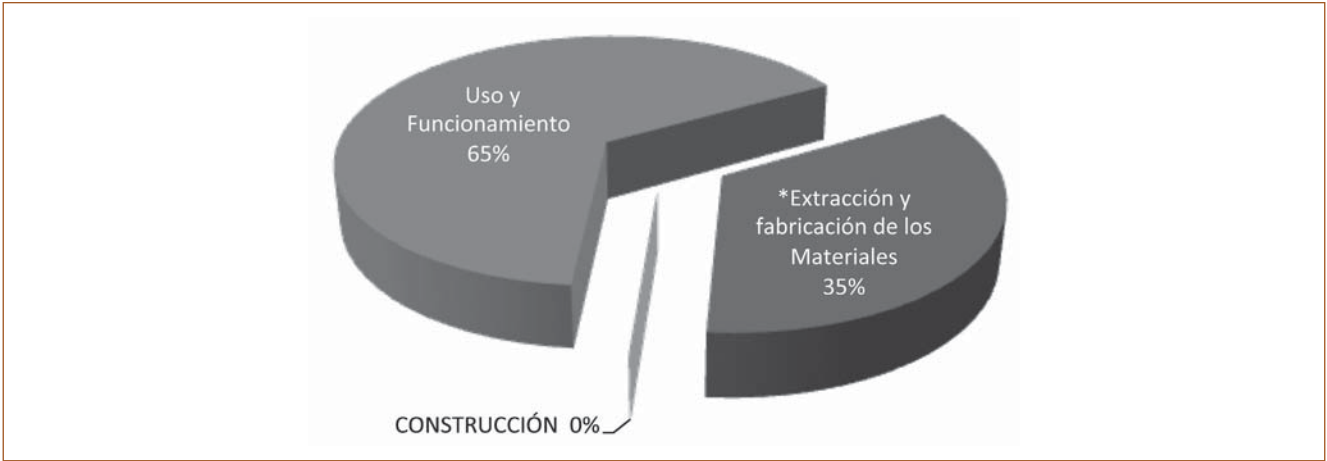
De acuerdo al estudio de los datos teóricos realizado se determinó que la energía contenida en la fase de extracción y fabricación de materias primas fue del 36,6 % del total de la energía contenida en la vivienda estudiada. (Tabla 5)

Para el consumo en la etapa de uso y funcionamiento se estimó una demanda energética de 46 kW/m² Bustamante (2009). Lo que arrojó un 65,4 % del total de energía consumida en esta etapa. Por último, gracias al estudio que se concretó, fue posible determinar en un 0,01 % el consumo energético utilizado en la etapa de construcción (etapa en estudio) de la ECV de la vivienda tipo investigada (gráfico 16).

Tabla 5. Flujo Energético, Vivienda Caso Estudio – Región del Biobío-Chile

		Consumo energético (kWh/m²)	Consumo energético (MJ/m²)	Total vivienda (MJ)	Consumo energético total vida útil (MJ)	% participación de energía en la ECV de la vivienda en estudio
Extracción y fabricación materiales	Energía invertida/ m² (materiales envolvente)	974,0	3506,256	159.324	3.983	34,61
Construcción	ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	0,2	0,70	32	1	0,01
Uso y funcionamiento	Etapa de uso o funcionamiento	1.840	6.624	300.995	7.525	65,38

Gráfico 16. Porcentaje de la energía total consumida en la Evaluación del Ciclo de Vida Simplificado de una vivienda (caso estudio)



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Análisis de Sensibilidad de los Datos

Se realizó un análisis de sensibilidad de los datos de acuerdo a dos parámetros:

4.4.1 Factor de emisión matriz energética (SIC vs SING)

La matriz energética del Sistema Interconectado Central (SIC) chileno es mayoritariamente hidroeléctrica, lo que refleja un factor de emisión bajo. Con este factor se obtuvieron las emisiones de dióxido carbono producido, en la fase de construcción correspondiente a 0,013 kg CO₂ emitidos. Si consideramos que el país está desarrollando y tramitando proyectos termoeléctricos importantes, podríamos pensar que nuestra matriz energética se está carbonizando, lo cual evidentemente a la luz de los resultados obtenidos, estos se verían importantemente impactados, por las emisiones de GEI.

Como factor de sensibilidad se evaluó el factor de emisión del Sistema Interconectado Central (SIC) mencionado versus el Sistema Interconectado del Norte Grande que se diferencia del SIC por producir un factor de emisión que duplica a este. Esto se debe a que la matriz del norte es más bien de origen Termoeléctrica,

y evidentemente posee un alto porcentaje de energía carbonizada (Tabla 6).

Tabla 6. Huella de carbono de la electricidad en Chile. Año 2008

Sistema de generación	kg CO ₂ /MWh
SING	1084
SIC	461

Fuente: Zaror, Vega 2010.

De acuerdo a los resultados sensibilizados podemos decir que al cambiar nuestra matriz SIC por la del SING la huella de carbono aumentaría en más del 40 % con respecto a la que tenemos hoy en día (Tabla 7).

Como conclusión, podemos mencionar que nuestra matriz energética (SIC) se está carbonizando, de este modo, el Dióxido de Carbono que hoy ha emitido la vivienda en estudio, será mucho mayor en el futuro. Por lo tanto, implementar medidas de mejoras en la fase de construcción es y será muy beneficioso para mitigar el impacto medioambiental asociado a ello.

Tabla 7. Resultados comparativos entre el consumo eléctrico SIC y el SING

Resumen	MWh	Huella de Carbono (kg CO ₂) por electricidad emitida en el SIC	Huella de Carbono (kg CO ₂) por combustible emitida en el SING
Fundaciones	0,0000000397	0,00001829	0,00004300
Albañilería y estructuras	0,0000022218	0,00102424	0,00240841
Losa	0,0000011398	0,00052544	0,00123552
Trazado	0,0000032438	0,00149537	0,00351623
Moldajes	0,0000005048	0,00023270	0,00054718
Tabiquería exterior	0,0000001838	0,00008471	0,00019919
Estructura techumbre	0,0000005156	0,00023767	0,00055886
Aislación	0,0000000000	0,00000000	0,00000000
Puertas	0,0000001270	0,00005855	0,00013768
Revestimiento exterior	0,0000007384	0,00034041	0,00080044
Revestimiento interior	0,0000001026	0,00004728	0,00011117
Ventanas	0,0000000631	0,00002908	0,00006838
Vidrios	0,0000000000	0,00000000	0,00000000
Totales (kg CO₂)		0,00409374	0,00962605
Porcentajes (%)		29,84	70,16

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. El uso de equipos y herramientas (consumo eléctrico)

De acuerdo al estudio realizado, el análisis de datos arrojó que la mayor cantidad de dióxido de carbono emitido era producido por los combustibles fósiles,

llegando a representar el 99,97 % de las emisiones en fase de construcción evaluada. Si se cambiaran las máquinas y equipos utilizados por otros que utilicen solo energía eléctrica, su huella de carbono disminuiría considerablemente.

Tabla 8. Resultados comparativos entre máquinas y equipos con consumo eléctrico y combustible por otros de consumo solo eléctrico.

Resumen	Huella de Carbono (kg CO ₂) por electricidad	Huella de Carbono (kg CO ₂) por combustible
Trazado	0,00001829	29,224
Fundaciones	0,00102424	22,677
Moldajes	0,00052544	9,628
Albañilería y estructuras	0,00149537	0,000
Losa	0,00023270	0,000
Trazado	0,00008471	0,000
Estructura techumbre	0,00023767	0,000
Aislación	0,00000000	0,000
Puertas	0,00005855	0,000
Revest. exterior	0,00034041	0,000
Revest. interior	0,00004728	0,000
Ventanas	0,00002908	0,000
Vidrios	0,00000000	0,000
	0,004	61,529
	Total de kg CO ₂ emitidos al ambiente	61,533
Resumen	Huella de Carbono (kg CO ₂) por electricidad	Huella de Carbono (kg CO ₂) por combustible
Fundaciones	0,00320075	0,00626943
Albañilería y estructura	0,00467303	0,00705422
Losa	0,00072720	0,00173821
Trazado	0,00005714	0,00057140
Moldajes	0,00164199	0,00164199
Tabiquería exterior	0,00026472	0,00026472
Estructura techumbre	0,00074271	0,00074271
Aislación	0,00000000	0,00000000
Puertas	0,00018298	0,00018928
Revestimiento exterior	0,00106378	0,00010638
Revestimiento interior	0,00014774	0,00014774
Ventanas	0,00009088	0,00090880
Vidrios	0,00000000	0,00000000
	0,013	0,020
	Total de kg CO ₂ emitidos al ambiente	0,032

Fuente: elaboración propia

Realizando la comparación, a partir de información de tabla 8, resulta que el cambio de máquinas y equipos combustibles a otros eléctricos produce una disminución de 61,5 kg CO₂.

Lo anterior nos indica la importancia que tiene seleccionar o proponer el uso de máquinas y equipos de acuerdo a su modo de funcionamiento (eléctrico o combustible), ya que al realizar mejoras o medidas de mitigación en la etapa de construcción de la ECV simplificado, es muy beneficioso, tanto como para la disminución del consumo de energía como para la huella de carbono.

5. Conclusiones y Comentarios

El diseño eficiente de los edificios puede desempeñar un papel clave en la lucha contra el cambio climático. Incorporar estrategias que apunten a disminuir el impacto en el medio ambiente y a aumentar la ecoeficiencia en toda cadena de valor, hace posible reducir las emisiones de GEI. Al respecto, el consumo de energía, debe ser considerado como un indicador de sustentabilidad y, disminuir su uso, nos permitiría acercarnos a los principios de construcción sostenible.

Los resultados finales de la ECV de la vivienda estudiada, muestran que la energía utilizada en las tres fases estudiadas, son muy disímiles. En la fase de construcción, a diferencia de las otras dos, el uso de energía es despreciable. La fase de extracción y fabricación de materias primas, resultó mucho más significativa en el uso de energía y finalmente, la fase más importante en el consumo energético dentro de la ECV, es sin duda, la correspondiente al uso y funcionamiento de la vivienda. Cabe resaltar entonces que una vivienda que haya sido diseñada e implementada con materiales con un alto índice de confort, pueden disminuir considerablemente la energía utilizada durante la fase de uso de la vivienda o de la vida útil de ella.

Es importante indicar que la densidad de los materiales no está directamente relacionada con la energía contenida de estos, ya que esto depende del factor de

emisión de los combustibles que estuvieron presentes en el proceso de fabricación del material.

El consumo energético en la etapa de construcción (fundación y envolvente) de la vivienda estudiada, es casi imperceptible con respecto a la etapa de extracción y procesamiento de materias primas y la etapa de uso y funcionamiento de la vivienda.

Es relevante destacar que, habiendo demostrado que la mayoría de las emisiones de GEI de un edificio, se originan durante la fase de operación de este, se deben incluir las fases que ocurren durante el ciclo de vida del edificio, para lograr la totalidad de la neutralidad de las emisiones de carbono.

Dado que el proceso de construcción tiene un importante efecto en las emisiones incorporadas tanto en los materiales como en los componentes y sistemas constructivos, sería importante desarrollar líneas de investigación orientadas a soluciones constructivas más eficientes, tales como sistemas prefabricados u otros similares.

De la misma manera, y a modo de complementar el estudio del flujo energético durante todo el ciclo de vida de una vivienda, sería importante conocer cuanta es la incidencia, en el consumo energético total, la fase de desconstrucción de esta.

Agradecimientos

Este trabajo muestra parte de los resultados de la tesis doctoral: "Estudio del Flujo Energético en el ciclo de vida de viviendas en Chile y su implicancia en la energía contenida y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)." Perteneciente al programa: Doctorado Arquitectura y Urbanismo (DAU). Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño de la Universidad del Bío-Bío - Chile.

Se agradece especialmente la participación del Licenciando en Ciencias de la Construcción, Sr. Mario Melo por su valioso aporte al trabajo de campo realizado y sus aportes a esta investigación.

Bibliografía

1. Adalberth K, Almgren A, Holleris E (2001). Life cycle assessment of four multi-family buildings. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings* ;2:1-21.
2. Bustamante, W (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. Santiago de Chile: MINVU División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (MINVU) Y Programa País de Eficiencia Energética (CNE).
3. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE) (2011). Life Cycle Assessment for energy efficiency in buildings. Programa de Cooperación Territorial SUDOE.
4. Cuchí, A. Los flujos de energía en la edificación. Diplomado internacional. Acercamientos a criterios arquitectónicos ambientales para comunidades aisladas en áreas naturales protegidas de Chiapas. Universidad Politécnica de Cataluña. Enero de 2003.
4. Hernández P (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42:815-821
5. Instituto Nacional Normalización (INN) (Chile). Sustentabilidad en la construcción de edificios - Métodos para el desarrollo de indicadores de sustentabilidad - Parte 1: Edificios. NCh3048/1.Of2007 ISO/TS 21929-1:2006. 24p.
6. Instituto Nacional Normalización (INN) (CHILE). Sustentabilidad en la construcción de edificios - Métodos de evaluación del comportamiento ambiental de los trabajos de construcción - Parte 1: Edificios. NCh3049/1.Of2007 ISO/TS 21931-1:2006. 35p.
7. ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
8. IPCC 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programme, Intergovernmental Panel on Climate Change. [15] PAS 2050:08 "How to assess carbon footprint of goods and services". British Standard. BSI.
9. United Nations Environment Programme (UNEP), New Move to Develop Global Standards for Measuring Energy Use in Buildings. [En línea][citado el: 03 de septiembre 2012]. Disponible en web <<http://www.unep.org>>
10. Peuportier B (2001). Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and Buildings* 2001; 33:443-50.
11. Programa para las Naciones Unidas y el Medio Ambiente (PNUMA). Economía Verde en el contexto del desarrollo sostenible y erradicación de la pobreza: Una perspectiva desde América Latina y el Caribe. [En línea] [citado el: 05 de septiembre 2012]. Disponible en web <<http://www.pnuma.org>>
12. Roche P (2010). Calculating greenhouse gas emissions for buildings: analysis of the performance of several carbon couting tools in different climates. *Informes de la construcción*. Vol. 62, 517, 61-80.
13. Sartori I, Hestnes AG (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: a review article. *Energy and Buildings*; 39:249-57.
14. Thormark C (2002). A low energy building in a life cycle-its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment*; 37:429-35.
15. Trebilcock (2011). Percepción de barreras a la incorporación de criterios de eficiencia energética en las edificaciones. *Revista de la Construcción*. Universidad Católica de Chile. (10): p. 5-13.
16. Wadel, g; Avellaneda, J; Cuchí, A (2010). Sustainability in industrialized architecture: closing the materials cycle. *Informes de la Construcción*. Vol. 62, 517, 37-51.
17. Xiadong, Yimin,Zhihui,. (2009) An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. *Building and Environment*. Vol. 45(3) Elsevier.
18. Yohanis YG, Norton B (2002). Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK. *Energy*; 27:77-92.
19. Zabalza, I., Aranda A., Scarpellini S.(2009), LCA in buildings: State-of-the art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44; 2510-20.
20. Zaror, C (2002). Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos. 2ª edición. Concepción, U. de Concepción.