



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE ARQUITECTO

Ciclo de vida de la Construcción de la Vivienda Ciudad Alegría, Loja

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Arévalo Sánchez, Joe Israel

DIRECTOR: Balcázar Arciniega, Cristian André, Arq

LOJA – ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DE EL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Arquitecto.

Arq. Cristian André Balcázar Arciniega

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación “Ciclo de vida de la Construcción de la Vivienda Ciudad Alegría, Loja” realizado por Arévalo Sánchez Joe Israel, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Diciembre de 2018

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Arévalo Sánchez Joe Israel declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Ciclo de vida de la Construcción de la Vivienda Ciudad Alegría, Loja, de la Titulación de Arquitectura, siendo Arq. Cristian André Balcázar Arciniega director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Arévalo Sánchez Joe Israel

Cédula: 1104873342

DEDICATORIA

A mis padres,

Gracias por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A DIOS,
A mis padres,
A mis docentes,
Y mis amigos.

Gracias por ser parte de este sueño.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	i
APROBACIÓN DE EL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	6
1.1. Introducción capitular.....	7
1.2. Impactos.....	7
1.2.1. Tipos de Impactos	7
1.2.2. Relación entre los impactos.....	8
1.3. Impactos en el sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC)	8
1.3.1. Impacto Social en el sector AEC.....	9
1.3.2. Impacto Económicos en el sector AEC.....	9
1.3.3. Impacto Ambiental en el sector AEC	9
1.4. Sostenibilidad	10
1.4.1. Antecedentes de la Sostenibilidad	10
1.4.2. La sostenibilidad en el sector AEC (Arquitectura, ingeniería y construcción) ..	14
1.4.3. Términos y Conceptos básicos de la sostenibilidad en el sector AEC	16
1.4.4. El Medio Ambiente y la Ecoeficiencia	16
1.4.5. Herramientas Analíticas y Prácticas para el desarrollo sostenible	17
1.4.6. Indicadores de Sostenibilidad	18
1.5. Normas y Estándares para el desarrollo sostenible	19
1.6. Eco diseño y Construcción ecológica en el sector AEC	20
1.7. Sistemas de evaluación y certificado de Sostenibilidad en Edificaciones.....	22
1.8. Análisis de Ciclo de Vida para la Sostenibilidad.....	23
1.8.1. Análisis de ciclo de vida (ACV)	24
1.8.2. Análisis de costes de ciclo de vida (CCV).....	25
1.8.3. Análisis social de ciclo de vida.....	25
1.8.4. Aplicación del ACVS en el sector AEC	26
1.9. La construcción, la huella urbana y los impactos ambientales	27
1.9.1. Los impactos ambientales de la huella construida en el Ecuador	28

1.9.2.	La huella urbana en la ciudad de Loja	29
1.10.	La vivienda y los impactos ambientales	30
1.10.1.	La vivienda en Loja	32
1.11.	Vivienda social y vivienda en masa	32
1.11.1.	Vivienda Social en Ecuador y Loja	34
1.12.	La doble problemática ambiental de la vivienda social	37
CAPÍTULO II		
DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA		38
2.1.	Introducción capitular	39
2.2.	Introducción al concepto de Ciclo de Vida en la Construcción	39
2.3.	Análisis de ciclo de vida (ACV)	40
2.3.1.	Antecedentes Históricos Análisis de ciclo de vida	40
2.3.2.	Definición ACV	42
2.3.3.	Etapas y aplicación del ACV	42
2.3.4.	Normas de referencia para la aplicación de ACV	43
2.4.	Metodología ACV aplicada al sector AEC	44
2.4.1.	Objetivos y Alcance	44
2.4.2.	Inventario de Ciclo de Vida (ICV)	46
2.4.3.	Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV)	50
2.4.4.	Interpretación de resultados (EICV)	55
2.5.	Herramientas de aplicación de metodología de análisis de Ciclo de Vida	55
2.6.	Estado de conocimiento de aplicación ACV en el sector AEC	57
2.6.1.	Aplicación del ACV edificaciones tipo vivienda	57
2.6.2.	Conclusiones del análisis de los estudios referentes	61
2.7.	Metodología ACV propuesta para el trabajo de investigación	62
2.7.1.	Metodología ACV propuesta para el análisis de la vivienda tipo Ciudad Alegría y los sistemas constructivos	63
CAPÍTULO III		
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA VIVIENDA TIPO CIUDAD ALEGRÍA		70
3.1.	Introducción	71
3.2.	Especificaciones generales de metodología	71
3.3.	Caracterización de la edificación	71
3.3.1.	Introducción al Proyecto Ciudad Alegría	72
3.3.2.	Vivienda Tipo Ciudad Alegría	73
3.4.	Objetivos y definición de límites y de alcance	78
3.4.1.	Objetivo del ACV de la Vivienda tipo Ciudad Alegría	78
3.4.2.	Límites y alcance del ACV de la Vivienda tipo Ciudad Alegría	78
3.5.	Inventario de ciclo de vida (ICV) de la vivienda Ciudad Alegría	79
3.5.1.	Inventario de materiales y elementos constructivos de la vivienda	79
3.5.2.	Inventario de Impactos ambientales Ecoinvent v2	80

3.6.	Evaluación de impactos ambientales de la vivienda Ciudad Alegría	81
3.6.1.	Etapa de Producción (A1-A3)	81
3.6.2.	Etapa de Transporte a Obra (A4).....	82
3.6.3.	Etapa de Construcción y deconstrucción (A5 y C1)	83
3.6.4.	Etapa de Transporte al vertedero (C2)	85
3.6.5.	Etapa de De-producción (C3 - C4 - D).....	86
3.7.	Presentación e Interpretación de resultados del ACV de la vivienda tipo Ciudad Alegría.....	88
3.7.1.	Resultados por Etapas de ciclo de vida	88
3.7.2.	Resultados por Sistemas Constructivos.....	89
3.7.3.	Resultados de de-producción por vertido y reciclaje	91
3.8.	Conclusiones del ACV de la Vivienda Tipo Ciudad Alegría.....	92
CAPÍTULO IV		
ACV DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CONTEMPORÁNEOS DE LA CIUDAD DE LOJA		
		93
4.1.	Introducción capitular.....	94
4.2.	Sistemas Constructivos de la Edificación.....	94
4.2.1.	Tipos de sistemas constructivos	94
4.2.2.	Principales sistemas ocupados en la ciudad de Loja	95
4.3.	Selección de sistemas para el ACV	97
4.4.	ACV de los Sistemas Constructivos.....	97
4.4.1.	Metodología ACV	97
4.5.	Análisis de Sistemas de Estructura.....	98
4.5.1.	Objetivos y alcance.....	98
4.5.1.	Inventario de Ciclo de Vida	99
4.5.2.	ACV Sistema de estructura de Hormigón Armado	100
4.5.3.	ACV Sistema de estructura de Acero	101
4.5.4.	Presentación e interpretación del ACV de sistemas estructurales	103
4.6.	Análisis de Sistemas de Envolventes y Particiones	106
4.6.1.	Objetivos y alcance.....	106
4.6.2.	Inventario de Ciclo de Vida	107
4.6.3.	ACV Sistema de Ladrillo de Arcilla (m ²).....	108
4.6.4.	ACV Sistema de Bloque de Hormigón (m ²).....	109
4.6.5.	ACV Sistema de Gypsum (m ²).....	109
4.6.1.	Presentación e interpretación del ACV de sistemas estructurales	110
4.7.	Resultado de comparación de de-producción de sistemas por vertido o reciclaje	112
4.8.	Conclusiones de ACV a sistemas constructivos	113
CAPÍTULO V		
INTERPRETACIÓN FINAL DEL ACV DE LA VIVIENDA TIPO CIUDAD ALEGRÍA Y LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE ESTRUCTURA Y ENVOLVENTES.....		
		114
5.1.	Introducción capitular.....	115

5.2. Interpretación global de ACV	115
5.3. Recomendaciones y Estrategias.....	116
CONCLUSIONES	118
RECOMENDACIONES.....	119
BIBLIOGRAFIA:.....	120
ANEXOS.....	128

RESUMEN

El presente trabajo atiende la problemática de los impactos ambientales, emisiones de CO₂ y consumo energético, causados por el sector de la arquitectura, ingeniería y construcción; y expone el uso de la metodología de análisis del ciclo de vida (ACV) aplicada a la edificación tipo vivienda, puntualmente la vivienda social tipo Ciudad Alegría en la ciudad de Loja – Ecuador, con el fin de evaluar sus cargas ambientales. La aplicación del ACV va enfocada en la necesidad de cuantificar, evaluar e interpretar, los impactos ambientales causados por proyectos de vivienda particular en masa, la cual es la principal protagonista del crecimiento de huella urbana construida y también causante de la mayoría de los impactos ambientales causados por el sector de construcción. El objetivo es llegar a una interpretación cualitativa y cuantitativa que relacione los sistemas constructivos de la vivienda con el consumo energético y emisiones de CO₂, y definir los factores vinculantes de la vivienda y los impactos ambientales; los resultados se usan para desarrollar estrategias que permitan tener un mejor control en el desarrollo sostenible de la construcción de viviendas.

Palabras clave: ACV, Sustentabilidad, Vivienda Social, Impacto ambiental

ABSTRACT

The present work addresses the problem of environmental impacts, CO2 emissions and energy consumption, caused by the architecture, engineering and construction sector; and it exposes the use of the life cycle analysis (LCA) methodology applied to the housing type construction, specifically the social housing type of the project "Ciudad Alegría" in Loja - Ecuador, in order to evaluate their environmental burdens. The application of the LCA is focused on the need to quantify, evaluate and interpret, the environmental impacts caused by large-scale single-family housing projects, which is the main protagonist of the growth of built urban footprint and also causing most of the environmental impacts caused by the construction sector. The objective is to arrive at a qualitative and quantitative interpretation that relates the constructive systems of housing with energy consumption and CO2 emissions, and to define the binding factors of housing and environmental impacts; the results are used to develop strategies that allow having a better control in the sustainable development of housing construction.

Keywords: LCA, Sustainability, Social Housing, Environmental Impact

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades y por ende de la huella urbana a través de los procesos constructivos es causante de grandes consumos de energía y recursos naturales, y de producir una serie de impactos ambientales contaminantes, económicos, y sociales (Zabalza, I, 2011). En Ecuador, el crecimiento urbano ha sido causante del cambio de uso de suelo, de procesos de construcción y explotación de materias primas, y a su vez que las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, CO², tengan un incremento del 46,7% en 10 años (Ministerio del Ambiente, 2012). A su vez Loja ha sido la ciudad con mayor crecimiento urbano en el país, donde del 2001 al 2010 hubo un crecimiento de huella construida del 82% (SHAH, 2015), siendo en su mayoría edificaciones tipo vivienda, las cuales pasaron de 31.705 viviendas en 2001 a 51.915 en 2010, no obstante aún existe un déficit de viviendas y por esto se desarrollan una serie de proyectos con la misión de construir vivienda confortable a bajo costo; entre estos el proyecto Ciudad Alegría en 2011, ubicado en el extremo sur de la ciudad, que cuenta con 617 viviendas unifamiliares de 92m² y 352 de 63m² departamentos (Vivem, 2018).

Al conocer la magnitud de la problemática y contexto que relaciona los impactos ambientales con la construcción y edificación, y más aún cuando la misma no es planificada ni desarrollada correctamente, y en especial en casos de proyectos a gran escala como los de Vivienda (Zabalza, 2013). Dicha problemática trae la necesidad de conocer cuáles son estos impactos, calcularlos, cuantificarlos, analizarlos, interpretarlos y disminuirlos; esto nos lleva a la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Wadel, 2010). El ACV nace por 1963 en los procedimientos de la industria de productos, pero ha de ser hasta las 3 últimas décadas donde ha tomado fuerza, ha llegado ser normalizada y también a ser ocupada en la construcción (Castellano, 2016), hoy en día el ACV es reconocida a nivel mundial como uno de los métodos más completos para la evaluación ambiental, y como el método más útil, más utilizado y más normalizado para evaluar el impacto en la construcción (Weissenberger, 2014); también su uso se lo ha visto a través del análisis de un considerable número de productos de construcción, sistemas, edificios, construcciones de ingeniería civil y hasta análisis a nivel urbano barrial (Lotteau, 2015). Particularmente en la Vivienda el ACV ha llegado a analizar dentro de la complejidad que engloba a la misma, no obstante hay estudios que reconocen que la complejidad y las incertidumbres son barreras para el uso generalizado del ACV en entorno construido, llegando a ser procesos complicados y lentos (Malmqvist, 2011), sin embargo, como respuesta a esto en Europa se han desarrollado normas, como la EN 15804 y EN 15978, que se refieren al empleo del ACV

en edificaciones, dando un marco metodológico de la información a incluir, etapas y comunicación de resultados (Basbagill, 2013), de igual manera se han desarrollado estudios y publicaciones que se refieren a una metodología simplificada del ACV en edificaciones de vivienda, donde el proceso es enfocado a obtener los resultados puntuales más importantes en relación a los impactos más relevantes como son el Global Warming Potential (GWP) medido en KgCO_2eq y Cumulative Energy Demand o Demanda de Energía Acumulada (CED) medido en MJ, que serían causados por los sistemas de la vivienda; también se mediría los impactos totales en cada una de las etapas analizadas (Soust-Verdaguer. 2016). En base a esta información y metodología se usara el ACV para calcular, evaluar, interpretar y tener una comprensión de los impactos causados por la Vivienda Social Tipo Ciudad Alegría en Loja, y poder llegar a conclusiones ambientales de los resultados.

OBJETIVOS

General:

Aplicar la metodología Análisis de Ciclo de Vida, ACV en la vivienda tipo, Ciudad Alegría.

Específicos:

- Calcular los Impactos ambientales, mediante metodología ACV, de la Vivienda tipo en Loja, en Ciudad Alegría.
- Realizar un análisis comparativo, ACV, de las Etapas de ciclo de vida, materiales y sistemas constructivos más utilizados, en la vivienda tipo en Loja, Ciudad Alegría
- Realizar un análisis interpretativo de los impactos causados por la Vivienda social tipo, Ciudad Alegría.
- Plantear estrategias que mejoren un correcto manejo de ACV, por ende disminuya correctamente los impactos de ciclo de vida, para la vivienda tipo en Loja desarrollo de Análisis de Ciclo de Vida.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción capitular

Como primer capítulo en el trabajo, se plantea un marco teórico con los conceptos e información base relevante y de importancia para poder ser entendido el tema a tratar, el cual está sintetizado en el título “Ciclo de vida de la Construcción de la Vivienda Ciudad Alegría, Loja”.

En relación al Análisis de ciclo de vida (ACV) nacen subtemas que lo conforman, y que deben ser tratados como pautas de una futura puntualización a lo largo del desarrollo del trabajo. La idea principal que guía al capítulo es el Análisis de Ciclo de Vida como herramienta de medición de impactos ambientales de la edificación y construcción, puntualmente las edificación residencial en especial vivienda de carácter social, y como caso de estudio la vivienda tipo Ciudad Alegría.

1.2. Impactos

Los impactos son entendidos como la huella o el efecto que produce la actividad humana sobre un aspecto en específico; estos impactos se dividen en tres categorías diferenciadas por el aspecto afectado como lo son el social, ambiental y económico (ISO 14040, 2006), no obstante existe una relación vinculante entre los impactos de estas diferentes categorías. Es de entender que toda actividad humana sin importar lo pequeña que sea produce un impacto que puede ser entendido como negativo o positivo dependiendo de la aspecto afectado y su reacción en el mismo.

1.2.1. Tipos de Impactos

Los impactos de acuerdo a su categoría se dividen en:

- **Impactos Ambientales:** Son las afectaciones ambientales directas o indirectas causadas por la actividad humana, como lo puede ser las emisiones de gases de efecto invernadero, y que causan efectos negativos como es el Cambio Climático (ISO 14040, 2006).
- **Impactos Económicos:** Son las afectaciones en el aspecto económico, que se las puede nombrar generalmente como costos y beneficios de una acción humana, siendo los costos los impactos negativo y los beneficios o ganancias los impactos positivos (ISO 15686-5, 2008).

- Impactos Sociales: Son las afectaciones en el aspecto social, o propiamente humano, estos impactos pueden ser positivos o negativos, que beneficien o afecten a la sociedad tanto físicamente, emocionalmente o culturalmente (EN 15643-3, 2012).

1.2.2. Relación entre los impactos

Existe una relación entre los aspectos ambientales, económicos y sociales; los impactos se caracterizan por sus respectivos indicadores de desempeño, los mismos que están vinculados entre las diferentes categorías (Figura 1). Un impacto ambiental, como lo es la contaminación, puede relacionarse con un impacto social que puede ser la salud, y a su vez este relacionarse con un impacto económico que puede ser el costo o gasto médico (Souza, 2015), de esta misma manera otros indicadores o tipos de impactos guardan relación entre los diferentes aspectos afectados.

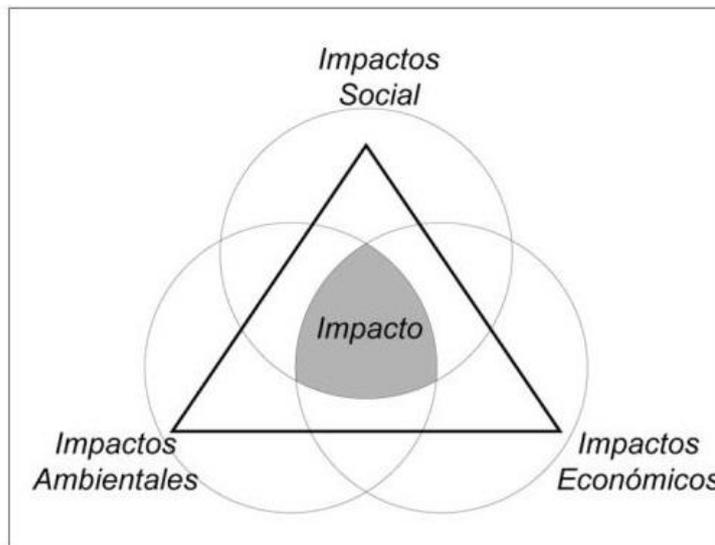


Figura 1. Relación de los impactos en diferentes categorías
 Fuente: Eco diseño (Zabalza, 2013)
 Elaborado por: El Autor

1.3. Impactos en el sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC)

Los procesos constructivos y edificatorios son causante de producir una serie de impactos ambientales, económicos, y sociales (Zabalza, 2011). Estos impactos pueden ser tanto positivos como negativos, no obstante, la actividad constructiva se ha visto relacionada particularmente a impactos ambientales negativos, a causa de la producción de CO₂, como también por el alto consumo de energía que demanda, de igual manera también es causante de la producción gran cantidad de desechos y de afectación ambiental por explotación de materia prima; también el sector AEC se ha visto vinculado a la economía de las sociedades, siendo en ocasiones favorable, como también relacionado a crisis

inmobiliarias y pérdidas económicas; en el aspecto social la construcción ha venido brindando soluciones a las necesidades humanas.

1.3.1. Impacto Social en el sector AEC

El informe de Brundtland 1987, realizado por la comisión sobre el Medio ambiente de la ONU, pone en énfasis las necesidades del ser humano como prioridad para un desarrollo sostenible; entendiendo que toda actividad humana se realiza o se debe realizar con la intención de causar un impacto positivo a nivel social. Los impactos sociales se los ve relacionados con las necesidades básicas del ser humano y a su vez también con sus derechos. En el caso del sector AEC, los impactos pueden ser desde el cumplimiento del derecho a la vivienda y servicios básicos, como también la generación de empleo, la salud, la lucha contra la pobreza, entre otros (Cuerda, 2016).

1.3.2. Impacto Económicos en el sector AEC

La actividad constructiva está ligada directamente a la economía a nivel mundial, nacional y personal de los usuarios, basta entender que el sector de la construcción es responsable del 10% de PIB mundial y del 10% al 8% de PIB del Ecuador (Mero, 2018). En el aspecto económico a los impactos se los conoce más como Costos o Beneficios; en este caso se entendería al costo de construcción, inversión, mantenimiento, etc, como costos negativos, más aun si la edificación no permite beneficios económicos como, aumento de plusvalía, disminución de inversión, producción económica, eficiencia de mantenimiento, etc (García, 2015).

1.3.3. Impacto Ambiental en el sector AEC

A nivel global se considera que los procesos constructivos y las edificaciones son causantes de una tercera parte de los gases de efecto invernadero producidos a nivel global, de igual manera también es causante del consumo de cerca del 40% de la energía producida (Zabalza, 2011). Se puede identificar numerosos impactos causados por el sector AEC, los más importantes son:

- Consumo de Recursos: Agotamiento de Materias primas y consumo de Energía
- Emisiones: Gases Efecto invernadero CO², entre otras emisiones.
- Generación de residuos: Las Edificaciones generan residuos, la mayoría de ellos no son reciclados.
- Cambio de uso de suelo y aumento de emisiones por transporte.

Todos estos impactos son perjudiciales para el ambiente como también para el aspecto social y económico. Más adelante se puntualizara en los impactos ambientales del sector AEC.

1.4. Sostenibilidad

El desarrollo sostenible o sostenibilidad no es una solución teórica, académica y comercial al problema de la producción, más bien es una necesidad que sale a flote ante las acciones e impactos del ser humano y su efecto perjudicial sobre los aspectos ambientales, económicos, y sociales. En resumen la sostenibilidad es la respuesta ante los impactos ambientales, económicos y sociales causados por el ser humano en cada una de sus acciones (Momete, 2013). Esto se ira entendiendo mejor en el desglose de las ideas posteriormente mostradas.

1.4.1. Antecedentes de la Sostenibilidad

A pesar de que el término “sostenibilidad” nos parece cercano en el tiempo se lo encuentra por primera vez en un texto de 1713 de Hans Carl von Carlowitz en el que hace referencia al correcto uso de los bosques, siendo su preocupación la conservación y cultivo de los bosques para un uso continuo y sostenido. Hans Carl von Carlowitz fue el primero en identificar la importancia de los aspectos económicos, sociales y ambientales para generar un uso sostenido de la silvicultura. 85 años después Thomas Malthus, científico, preocupado por el problema del aumento de la población y sus efectos en la capacidad de producir alimentos concluye una correlación en el aumento de población y carencia de alimentos, en un futuro próximo.

Luego Stuard Mill en 1848 describió la realidad de vivir en un mundo con recursos limitados y la necesidad de preferir un estado estacionario y no un estado progresivo que se basa en el consumo de recursos y está orientado hacia el crecimiento económico. En 1866 por Ernst Haeckel, quien introdujo el término ecología y lo definió como el estudio de la relación de los organismos con su entorno. En 1908, Svante Arrhenius, un pionero en términos de climatología moderna, predijo que es probable que aumente la temperatura a causada de un aumento de CO₂ en la atmósfera, instaurando la base de lo que conoceremos como Cambio Climático, de igual manera Grigore Antipa estudio al ser humano y su relación con la naturaleza, lo que luego será BioEconomía. Después de la segunda guerra mundial se presentan una serie de escritos relacionados a la justa división y asignación de los recursos entre generaciones presentes y futuras, de la mano de John Rawls y Brian Barry.

Sin embargo, a pesar de estas preocupaciones, el verdadero reconocimiento de la necesidad de una sostenibilidad surgió en 1970 ante la escasez de recursos, combustibles y los efectos o impactos sobre el medio ambiente causados por el hombre todo esto frente a una crisis petrolera. En 1972 Donatella Meadows publicó “Los límites del crecimiento”, en este estudio se analiza las entendidas de crecimiento de varias acciones como el consumo de combustibles fósiles, industrialización, alimentos, etc, y llegando a la conclusión que si se sigue con el mismo patrón de consumo el planeta llegara a su fin en 2070 (Momete, 2013).

No obstante el verdadero despertar de la sostenibilidad, se produce en la Conferencia sobre el Medio Humano de Estocolmo (1972), que tuvo como tema el daño ambiental constante, problemas ambientales, agencias, ministerios, etc. Los resultados de la Conferencia de Estocolmo sentaron las bases para el primer marco internacional de protección del medio ambiente. La comisión sobre el Medio ambiente de la ONU bajo la dirección de Gro Harlem Brundtland, abordó las necesidades de los recursos medioambientales de las generaciones. Para lo que fue necesario el desarrollo de los términos como “sostenible”. La comisión de Brundtland (1987) define el desarrollo sostenible como aquel “que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”, dando a entender como la primera idea la importancia del manejo correcto de los recursos, como también una visión al futuro, el informe de Brundtland finalmente plantea la posibilidad de obtener un crecimiento económico basado en políticas de sostenibilidad con la protección y correcto manejo de los recursos ambientales.

Otro momento importante de desarrollo sostenible se estableció en Rio de Janeiro en 1992, cuando tuvo lugar la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo y como resultados la aprobación del Programa 21 y la publicación de la Declaración de Río; este programa enumera unas 2500 recomendaciones para la aplicación de la declaración, en las cuales toma en cuenta cuestiones como con la salud, la vivienda, la contaminación del aire, la desertificación, la gestión de los recursos hídricos, del saneamiento y de los residuos. Dentro del documento de la Agenda 21 se propone el uso de los indicadores de impactos como herramienta para la aplicación práctica de la sostenibilidad, ya que estos permitirán identificar, evaluar controlar y monitorear los tres pilares de la sostenibilidad: medioambiental, social, y económico. “Los indicadores de desarrollo sostenible necesitan ser desarrollados para proporcionar bases sólidas en la toma de decisiones en todos los niveles y para contribuir a una sostenibilidad autorregulada del medio ambiente y de los sistemas de desarrollo” (United Nations, 1992)

En estas mismas conferencias se vio la necesidad de regular el cambio climático y la temperatura global, y se centró en limitar la emisión de gases efecto invernadero todo esto dentro de lo que sería la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, de igual manera se crea el “Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible” organización que propone la EcoEficiencia como un sector principal de la sostenibilidad y apporto con la difusión de la sostenibilidad en las empresas.

Luego el protocolo de Kioto (1997) que estipulaba que los países deberían reducir sus emisiones de GEI en un mínimo del 5% durante el período 2008-2012. La Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Río + 10) celebrado en Johannesburgo en el 2002 que trae como sus resultados la aprobación de varias medidas necesarias para aliviar la pobreza y remediar el daño ambiental. La Cumbre Johannesburgo introdujo el concepto de “Consumo y Producción sostenible”. El objetivo principal era establecer una relación entre la producción, el consumo de recursos y los grados de contaminación, de igual manera se plantearon puntos como el uso eficiente de los recursos y analizar el ciclo de vida completo de los productos.

Diez años después, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río + 20) tuvo lugar en Río de Janeiro (2012) y se basó en el compromiso político con el desarrollo sostenible, el desarrollo del marco institucional para el desarrollo sostenible y el impulso de la economía verde. En base a todo lo sucedido se emprendió la búsqueda de nuevas fuentes de energía a nivel mundial, como también la realización de productos más sostenibles, y una eminente preocupación por el cambio climático. Pero es de entender que dicha respuesta es a largo plazo, ya que la acción rápida podría traer problemas al ser aplicadas tecnologías inmaduras que lleguen a complicar el estado actual. Un problema importante, es la necesidad de soluciones de energía limpia, el cual si no es trabajado correctamente puede dar paso a otros problemas como la escases de alimentos, tierra cultivable y agua (Momete, 2013).

En el año 2015 se da la Conferencia de París, organizada por la CMNUCC y con 195 países participantes, el principal objetivo alcanzado fue llegar a un acuerdo mundial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (EGI) y definir cuáles son los métodos para hacerlo. En 2016 entra en vigor el acuerdo, y es ratificado por más de 50 países, que representaban el 55% de las EGI. Para cada país que ratifique el Acuerdo habrá un mecanismo que lo forzaré a cumplir los objetivos marcados. El acuerdo será aplicado a partir de 2020, fecha en la que termina el aplazamiento del protocolo de Kyoto firmado en la cumbre de Copenhague 2012.

Igualmente 2015, la Asamblea General de la ONU adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, “un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad” (UN, 2015), esta agenda propone tres prioridades que donde se liga la relación de lo social, ambiental y económico:

- Crecimiento inteligente: Economía basada en el conocimiento y la innovación
- Crecimiento sostenible: Economía que haga un uso razonable y eficaz de los recursos naturales, que sea más sostenible y competitiva
- Crecimiento integrador: Economía de aporte social con alto nivel de cohesión social y territorial.

La Agenda 2030 plantea 17 objetivos que aparecen con 168 metas que abarcan las esferas económica, social y ambiental (Figura 2). Las nuevas estrategias regirán los programas de desarrollo mundiales durante los próximos 15 años. La Agenda implica un compromiso común y universal, no obstante, el mismo texto dispone que cada país tiene el deber de fijar sus propias metas a cumplir, ya que cada uno enfrenta retos específicos pero a su vez los estados deben apegarse a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).



Figura 2: Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030
 Fuente: Agenda 2030 (UN, 2015)
 Elaborado por: El Autor

1.4.2. La sostenibilidad en el sector AEC (Arquitectura, ingeniería y construcción)

En base a la sostenibilidad se ha ido originando una serie de sub-definiciones que responden a las necesidades o ideas particulares de cada sector como en este caso el de la construcción, esto para poder generar arquitectura sostenible enfocándose en distintas áreas puntuales para lograrlo. Algunas de estas sub-definiciones son:

- Proyecto Sostenible: “la creación de una edificación eficiente en cuanto al consumos energético, también que sea saludable, cómoda, flexibles en el uso y pensado para tener una larga vida útil” (Foster + Partners, 1999)
- Construcción Sostenible: “la creación y gestión de Edificios saludables basados en principios ecológicos y en el uso eficiente de los recursos” (BSRIA, 1996)
- Materiales Sostenible: “materiales y productos de construcción saludables, duraderos, eficientes en cuanto a consumo de recursos y de fabricación óptima, minimizando el impacto ambiental y maximizando su reciclaje” (Edwards, 2009)

Con el desarrollo de estas definiciones se llega a conciliar una sostenibilidad que no solo está enfocada con el medioambiente, sino se recalca el énfasis en la relación triangular de lo ambiental, con lo económico y lo social, poco a poco haciendo encajar puntos en común y de mutua afectación (Figura 3).

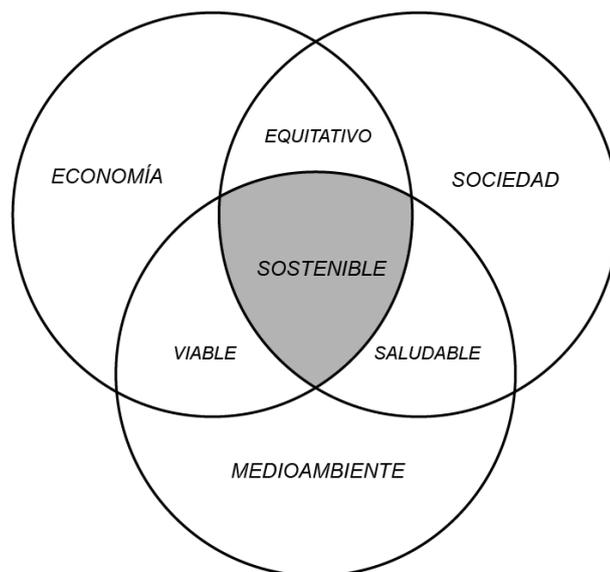


Figura 3: Sostenibilidad (Diagrama de Relación)
Fuente: Eco diseño (Zabalza, 2017)
Elaborado por: El Autor

Al entender que las edificaciones u obras arquitectónicas causan una serie de impactos que afectan en un contexto puntual y global, trae la necesidad de buscar acciones sostenibles dentro de la actividad edificatoria (Zabalza, 2011). En base a esto, la sostenibilidad deja de ser algo independiente al proyecto arquitectónico y se convierte en algo que debe ser fuertemente relacionado al mismo, influyéndola en las toma de decisiones arquitectónicas, y siendo la meta que el arquitecto debe anhelar (Edwards, 2009).

Con esto cabe mencionar que la sostenibilidad deja de ser vista como observaciones de sentido común o de previa estrategia, y pasa a ser una idea cuantificable de los impactos y analítica de los mismos. Puntualmente es más que evidente la relación de equilibrio en la sostenibilidad que depende de los factores medio ambiente, economía y sociedad, dicha relación permitirá afirmar de forma rotunda si bien un edificio, un sistema constructivo o un elemento es sostenible o no lo es (García, 2015). A lo largo de estos últimos años cabe mencionar que se ha visto un desarrollo sostenible en diferentes puntos relacionados al sector AEC (Zabalza, 2013), como son:

- Desarrollo de metodologías de análisis de sostenibilidad
- Normas y leyes para un desarrollo sostenible en el sector AEC.
- Desarrollo de programas y softwares de gestión medioambiental para el sector AEC
- Difusión de procesos de Innovación en el proyecto ecológico.
- Innovación de reciclaje de materiales.
- Desarrollo de tecnologías arquitectónicas más limpias y eficientes.
- Investigaciones sobre el impacto ambiental de los productos.
- Investigaciones sobre el rendimiento energético de las edificaciones.
- Nuevas tecnologías y herramientas que permiten desarrollo sostenible.

Finalmente cabe mencionar que en el 2015 se plantea en la Agenda 2030 de la ONU algunos objetivos que tiene relación con el sector AEC, e influirían en nuevas políticas y estrategias para el desarrollo sostenible del sector:

- Objetivo 8: Buscar un crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible.
- Objetivo 11: Construir ciudades y asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
- Objetivo 12: Asegurar un consumo y patrón de producción sostenibles.
- Objetivo 13: Actuar urgentemente para combatir el cambio climático y sus impactos.

- Objetivo 17: Reforzar los medios de implementación y revitalizar una asociación global para el desarrollo sostenible.

1.4.3. Términos y Conceptos básicos de la sostenibilidad en el sector AEC

La tecnificación y normalización de la sostenibilidad en el sector AEC y más sectores productivos trajo consigo términos y conceptos básicos para guiar a un desarrollo sostenible, como son:

- Pensamiento de Ciclo de vida:
La concepción de las etapas que comprenden a un producto, desde su nacimiento como idea, a su producción, uso y fin de vida útil.
- Diseño para el medio ambiente o eco diseño:
Procesos de diseño que sean amigables al medio ambiente, y que buscan disminuir los impactos.
- Tecnología limpia:
Sistemas y procesos más eficientes y de menor impacto.
- Ecoeficiencia:
Acciones para el desarrollo sostenible de una acción, proceso o producto.

1.4.4. El Medio Ambiente y la Ecoeficiencia

La fuerte relación entre el medio ambiente y los impactos del ser humano ha causado que los organismos a nivel mundial planteen estrategias y acciones para mejorar el desarrollo sostenible. La Ecoeficiencia es un término que se utiliza para expresar las acciones que se deben realizar para tener un desarrollo sostenible en el caso de las actividades de producción y construcción (Zabalza, 2013). La ecoeficiencia se entendería como el uso racional de la energía y los materiales, buscando la minimización del impacto ambiental, conservación de los recursos naturales, reducción de la dependencia energética, y a su vez también consiguiendo una reducción de los costes económicos y mejoras en la calidad de vida de la sociedad. Los principios básicos de esta filosofía se los conoce como las Seis “R”, y son las siguientes:

- Repensar el producto y sus funciones
- Reparar: Facilidad de mantenimiento y reparación del producto
- Reemplazar materiales, elementos o sistemas dañinos por otros más eficientes.
- Reutilizar productos cuyos componentes pueden tener una segunda vida útil.
- Reducir gasto energético, emisiones, materias primas e impactos causados.

- Reciclar: trabajar con materiales y sistemas que permitan ser reciclados.

La Ecoeficiencia busca afectar y analizar al producto o edificación en todo su ciclo de vida, desde la extracción de la materia prima, pasando por la producción, vida útil hasta su deconstrucción y residuos; para realizar esto se utilizan técnicas y herramientas metodológicas, de igual manera se establece indicadores.

1.4.5. Herramientas Analíticas y Prácticas para el desarrollo sostenible

Las herramientas no aportan soluciones, pero ayudan a adoptar decisiones aceleradas, como también ayudan a entender, cuantificar e interpretar los impactos que el desarrollo sostenible busca minimizar. En el caso del desarrollo sostenible se han ido desarrollado herramientas o metodologías que permitan una comprensión clara de los impactos y un manejo favorable de la interpretación de los resultados, que nos permita solucionar el problema de la sostenibilidad en procesos, acciones y edificaciones (Edwards, 2009). Dichas herramientas han sido participes para el desarrollo sostenible en actividades relacionadas al sector AEC.

Estas herramientas son:

- Análisis del ciclo de vida para la Sostenibilidad (ACVS)
- Análisis de ciclo de vida (ACV)
- Análisis de costos de ciclo de vida (ACCV)
- Análisis social de ciclo de vida (ASCV)
- Enfoque de Ciclo de Vida (ECV)
- Análisis de flujo sostenible (AFS)
- Análisis Ambiental de Entrada / Salida (IOA)
- Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA)
- Eco-diseño, eco-auditoría
- Análisis de mercado
- Análisis de Costo Beneficio
- Análisis de Entrada / Salida
- Modelos de Optimización
- Otros

Todas estas herramientas son factibles para el desarrollo sostenible, no obstante el Análisis de ciclo de vida para la sostenibilidad ACVS, y sus derivados, son las herramientas más utilizadas, más normalizadas y más óptimas para la evaluación y diseño sostenible, sin

embargo dicha herramienta al ser acompañada por más metodologías como la ecodiseño y ecoeficiencia traerán mejores resultados (Zabalza, 2013).

1.4.6. Indicadores de Sostenibilidad

A los indicadores se los puede entender como conceptos que mediante cifras, valores, porcentajes o medidas permiten simplificar la complejidad de los impactos, ayudando a que sean comprendidos. En si las funciones principales de los indicadores son cuantificar, simplificar y comunicar los impactos causados (ISO, 2011).

Al momento de plantear un análisis de los impactos en el ciclo de vida de un producto es necesario elegir los indicadores más relevantes y encontrar los métodos más adecuados para cuantificarlos y valorarlos. Para elegir los indicadores hay que considerar primero cual es el propósito del análisis de los impactos, entender los límites de análisis, el contexto y la disponibilidad de información (Vega, 2015). Existen tres grandes grupos de indicadores dependiendo el sector a analizar:

1.4.6.1. Indicadores ambientales

Son los que se refieren al sector del medioambiente. Y se distinguen tres tipos de estos (ISO, 2011):

- Indicadores en Emisiones o Cargas: Emisiones totales de CO₂
Estos son obtenidos mediante el inventario de análisis de ciclo de vida.
- Indicadores en Impactos: Son directamente medidos del impacto del edificio sobre el medio ambiente, referidos a las categorías de impactos de ACV.
- Indicadores de consecuencias ambientales: Se analizan los impactos ambientales en relación a sus consecuencias, o reacciones, como puede ser el cambio climático, consumo energético, emisión de gases efectos invernaderos.

Los principales indicadores usados en los análisis o evaluaciones de carácter ambiental son los relacionados con el factor ecológico, gasto energético, calentamiento global, uso de materias primas, y producción de residuos (SuPerBuildings, 2010).

1.4.6.2. Indicadores Sociales

Los indicadores sociales se los plantea a nivel de la sociedad o comunidad en general y son temas de relevancia mayor como pueden ser la expansión urbana, servicios básicos, transporte, accesibilidad, empleo, entretenimiento, etc; no obstante también pueden ser temas a escala de la edificación y sus usuarios puntuales, como puede ser el confort, la satisfacción del usuario, seguridad y salud de los trabajadores y habitantes, etc. Estos indicadores son medidos tanto en forma cualitativa como cuantitativa, esto debido a que en el aspecto social se toma en cuenta aspectos psicológicos como puede ser la satisfacción y realización del usuario (Cuerda, 2016).

1.4.6.3. Indicadores Económicos

Los indicadores se los relaciona a los impactos de Costes y Beneficios; el indicador base es el Costo inicial del edificio, y posteriormente vendrán los indicadores relacionados a los costos de uso y mantenimiento como también a los beneficios económicos (ISO, 2011). Los indicadores se basan en relación a los flujos económicos en la edificación a lo largo de su ciclo de vida como es:

- Costo de Inversiones (proyecto, construcción, etc)
- Uso (servicios básicos, etc)
- Mantenimiento, transformación y reparación
- Desmantelamiento y tratamiento de residuos
- Desarrollo del valor económico del edificio
- Rentas, ingresos, o también ganancia extraordinaria por la venta

1.5. Normas y Estándares para el desarrollo sostenible

En los últimos años se han planteado una serie de normativas ambientales que han permitido controlar, desarrollar y mejorar la metodología para el desarrollo de la sostenibilidad en diferentes sectores y también puntualmente para el sector AEC.

Las normativas han permitido que se entienda de mejor manera los conceptos y que también se plantee metodologías con estándares mundiales para el desarrollo sostenible. La Organización Internacional para la Estandarización (International Standards Organisation, ISO) ha desarrollado en los últimos años una serie de normas dentro de la ISO 14000, dichas normas pasan a ser un indicador universal que evalúe los esfuerzos de cualquier

organización por alcanzar una protección ambiental confiable y adecuada. Igualmente otras organizaciones han desarrollado normativas, similares como lo es la norma CEN/TC 350 del Comité Europeo de Normalización, siendo una de las más importantes a nivel mundial en el tema de la sostenibilidad en la edificación (Tabla 1).

Tabla 1: Normas y estándares para el desarrollo sostenible

Principales Normas y Estándares		
Serie de Normas	Organizador	Uso en la construcción
ISO 14000	ISO Organización Internacional de Normalización	<ul style="list-style-type: none"> • Certificación del Sistema de Gestión Ambiental • Sello Ambiental • Desarrollo sostenible
CEN/TC 350	CEN Comité Europeo de Normalización	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de la sostenibilidad de las obras de construcción. • Enfoque de ciclo de vida con los indicadores cuantificables
AEN/CTN 198	Asociación Española de Normalización	<ul style="list-style-type: none"> • Normas relacionadas con los materiales, y sistemas constructivos.

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

1.6. Eco diseño y Construcción ecológica en el sector AEC

El ecodiseño se lo entiende como el conjunto de acciones enfocadas a la mejora medioambiental de una edificación en la etapa inicial de diseño, mediante la aplicación de estrategias, procesos y sistemas que minimicen los impactos ambientales, para la realización de esto se plantea la herramienta metodología del Enfoque de Ciclo de Vida (ECV), herramienta que permite proyectar y tomar decisiones basados en cada una de las etapas de la edificación, antes de que la misma sea construida (Zabalza, 2013). Cada una de las acciones a tomar se relaciona con las etapas de ciclo de vida del edificio (Tabla 2).

Como la calidad de un proyecto depende de los recursos, sistemas y tecnología disponible, el objetivo del proyecto sostenible debe ser generar mayor valor durante un periodo más largo de tiempo utilizando los recursos existentes y reduciendo tanto los consumos de energía, materias primas y emisiones. Los indicadores de calidad del proyecto engloban las características de función, beneficio, calidad e impactos del edificio, de manera que pueda medirse de forma racional la sostenibilidad desde tres puntos de vista esenciales: social, económicos y medioambiental. Al fin y al cabo, un proyecto no es sostenible desde el punto de vista económico si no cumple su función con eficacia, tampoco desde el medioambiente si la construcción no es duradera y estable; y de igual manera no se cumple el aspecto social si los usuarios no lo disfrutan y se sienten satisfechos por la edificación.

Tabla 2. Estrategias y acciones de mejoras ambientales

Etapas de ciclo de vida de la Edificación	Estrategias y acciones de mejoras ambientales
Diseño y Concepto	Flexibilidad Multifunción Eficiencia Optimización
Materia prima y materiales	Sin compuestos tóxicos Renovables Bajo consumo energético Reciclados y reciclables
Producción	Ahorro de energía Menos recursos Eliminación de procesos contaminantes Mejor mantenimiento Minimizar las emisiones
Trasporte	Trasporte eficiente energéticamente Trasporte con energía renovable Minimización del peso de los elementos
Uso	Energías renovables Eficiencia energética Reducción de recursos Reducción de impactos y emisiones Mantenimiento y reparación eficiente Durables y resistentes Productos atemporales y modulares
Gestión de fin de vida	Reutilizable Reciclable Elementos Valorizables

Fuente: Institute of environmental Science and technology-UAB
Elaborado por: El Autor

En los conceptos básicos de la arquitectura se han concebido ciertas cualidades que debe cumplir una edificación, como lo era la firmeza, la utilidad y la belleza, no obstante hoy en día se plantea cualidades relacionadas a la sostenibilidad. La triada vitrubiana comparte ciertas características con la triada moderna de la sostenibilidad (Figura 4), no obstante es clave entender las dos filosofías de diseño como una sola, ya que a pesar de aparentar diferentes cualidades las triadas, las dos funcionan como complemento; si bien si una edificación no es firme, ni útil o guarda una estética, no podrá cumplir con una sostenibilidad económica, social ni medio ambiental.

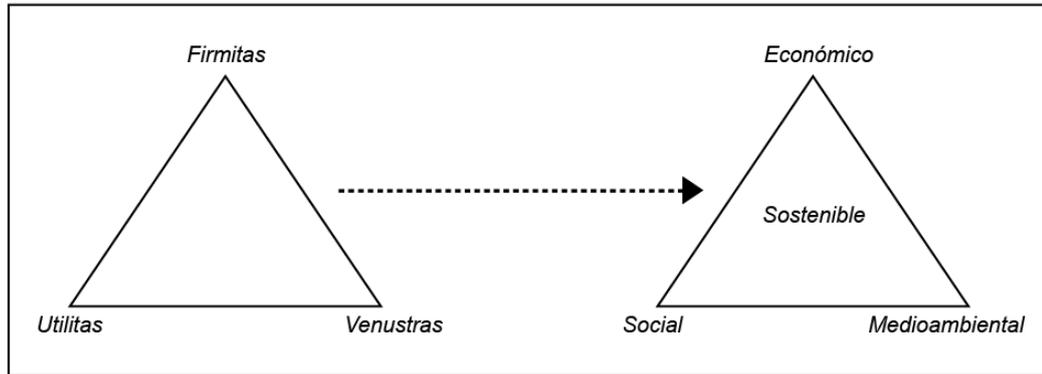


Figura 4: La Triada Sostenible
 Fuente: Guía básica de la sostenibilidad. (2009)
 Elaborado por: El Autor

1.7. Sistemas de evaluación y certificado de Sostenibilidad en Edificaciones

Estos sistemas se los entendería como metodologías o herramientas de evaluación y calificación institucionalizadas y estandarizadas que se encargan de evaluar la sostenibilidad de una edificación y de sus sistemas constructivos (Vega, 2015). Esta evaluación tiene la finalidad de dar una valoración global del edificio y a su vez ver si la edificación cumple una serie de parámetros predefinidos para poder ser sostenible según el sistema evaluador. Dichos sistemas son creados por diferentes organizaciones a escalas nacionales como internacionales, y para su desarrollo se basa en investigaciones sobre sostenibilidad como también en las normativas ya existentes (Suzer, 2018). Los parámetros que plantea cada sistema son meticulosamente estudiados y justificados, igualmente pese a que existe un gran número de sistemas cada uno de ellos tiene diferente metodología de evaluación.

Cabe recalcar que algunos sistemas solo tiene vocación de evaluar y calificar el nivel de sostenibilidad, no obstante otros sistemas tiene la facultad de dar certificados de sostenibilidad a las edificaciones, dependiendo del puntaje y los parámetros cumplidos, dichos certificados llegan a tener una valoración internacional en la mayoría de casos. Los sistemas de mayor importancia, complejidad y renombre son LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) y VERDE; de igual manera cabe mencionar que hay una gran cantidad de sistemas (Tabla 3); en el caso del Ecuador esta Punto Verde que es el sistema de certificado sostenible desarrollado por el ministerio del ambiente, no obstante el sistema aún se encuentra en desarrollo y no tienen una maduración adecuada como para usarlo como un objetivo principal en el desarrollo sostenible de la edificación; es recomendable buscar las certificación de los sistemas principales antes mencionados.

Tabla 3: Principales sistemas de evaluación de la sostenibilidad de edificaciones

NOMBRE	PAÍS	INSTITUCIÓN
BREEAM	Reino Unido	Building Research Establishment (BRE)
LEED	EEUU	United States Green Building Council (USGBC)
CASBEE	Japón	Japan Sustainable Building Consortium (JSBC)
Green Star	Australia	Green Building Council Australia (GBCA)
SBTOOL	Internacional	International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE)
DGNB System	Alemania	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
VERDE	España	Green Building Council España (GBCe)

Fuente: Ecodiseño (Zabalza, 2013)

Elaborado por: El Autor

Pese a que estos sistemas son muy conocidos cabe mencionar que también son muy criticadas en especial en sus primeros años de desarrollo, esto debido a que muchos sistemas solo consideraban los aspectos ambientales y energéticos de la edificación para su respectiva calificación, enfocándose en una sostenibilidad medioambiental en su mayoría y dejando de lado los aspectos sociales y económicos como también los aspectos estéticos de la arquitectura (Cuerda, 2016); debido a estas críticas y al constante desarrollo de las instituciones se ve que en las nuevas versiones de evaluación de los principales sistemas empiezan a considerar aspectos como el económico y el social.

1.8. Análisis de Ciclo de Vida para la Sostenibilidad

El análisis de sostenibilidad de ciclo de vida o también conocido como el análisis de ciclo de vida para la sostenibilidad (ACVS) es una metodología usada para evaluar todos los impactos de un producto a lo largo de su ciclo de vida, considerando los sectores ambientales, sociales y económicos dentro de dicha evaluación (UNEP-SETAC, 2011).

Esta metodología tiene su origen en las últimas décadas cuando investigadores y expertos del área de la sostenibilidad proponen ampliar el enfoque ya establecido del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a una perspectiva más global, considerando los aspectos de economía y sociedad, aspectos que ya se nombraban en la definición de ACV en la norma ISO 14040:2006 (Guinée, 2011). Hasta entonces al ACV se lo concebía como una metodología únicamente ambiental, la cual permitía evaluar los impactos producidos por los productos o edificaciones, no obstante se llegaría a notar que dicha evaluación no podría calcular una verdadera sostenibilidad si no se considera los aspectos sociales y económicos. Para poder desarrollar la idea de ACVS se plantea proyectos como el “Coordination Action for innovation in Life Cycle Analysis for Sustainability” (CALCAS), y también se generan diversos estudios, experimentación y publicaciones, a través de estos trabajos se

entendería la verdadera importancia del ACVS para el desarrollo sostenible y también se podría llegar a una idea clara de su funcionamiento (Guinée, 2016).

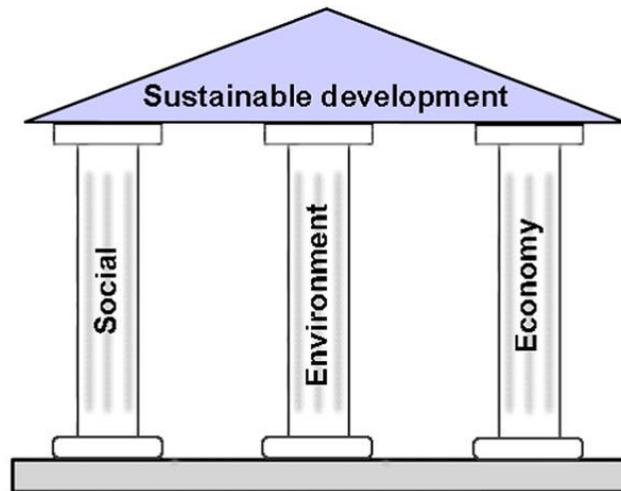


Figura 5: Representación del desarrollo sostenible
Fuente: Life cycle assessment and sustainability analysis (Heijungs; Huppés; Guinée, 2010)
Elaborado: El Autor

A final se entendiende al ACVS como la combinación, sumatoria y análisis conjunto de las diferentes metodologías de análisis de ciclo de vida, como lo es el análisis ambiental de ciclo de vida (ACV), el análisis de costos de ciclo de vida (CCV) y el análisis social de ciclo de vida (ASCV); dicha metodología se lo puede utilizar para evaluar la sostenibilidad de un producto o edificio como también puede ser usada en el proceso de diseño de la edificación para buscar un desarrollo sostenible, a través de un equilibrio de los impactos de los aspectos analizados (Heijungs; Huppés; Guinée, 2010). No obstante el CCV es una metodología aun en desarrollo e investigación con pocos años de uso y normalización; y el ASCV es una metodología que tiene muy poco desarrollo y que aún se encuentra en posesos de investigación, esto afectaría al desarrollo del ACVS, sin embargo cabe mencionar que en los últimos años se viene desarrollando trabajos e investigaciones que favorecerían al progreso de las metodologías CCV y ASCV y con estos también el ACVS.

1.8.1. Análisis de ciclo de vida (ACV)

Al análisis del ciclo de vida (ACV, o Life Cycle Assessment, LCA) se lo conoce como una metodología de análisis ambiental de un producto o proceso, siendo una herramienta normalizada para la búsqueda del desarrollo de la sostenibilidad. De acuerdo con la norma ISO 14040 (2006) el ACV “es una técnica para evaluar los aspectos y los impactos ambientales potenciales asociados con un producto” mediante la “recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema producto durante su ciclo de vida” (ISO 14040,2006). En el sector AEC, el producto a analizar sería la

edificación, el sistema constructivo o el objeto construido o por construir. Cabe mencionar que se han desarrollado una serie de normativas y estudios relacionadas a la sostenibilidad en el sector AEC, donde se especifica el uso de la ACV en las edificaciones (Zabalza, 2013), las principales normas para la aplicación de esta metodología están la ISO 14040, la EN 15978 y la ISO 15686-6, entre otras.

1.8.2. Análisis de costes de ciclo de vida (CCV)

El coste del ciclo de vida (CCV, o Life-Cycle Cost, LCC) es definido por la SETAC como “una metodología de análisis y recopilación de todos los costes relacionados con un producto durante todo su ciclo de vida” (UNEP/SETAC, 2009).

La metodología CCV busca desarrollar una cuantificación y evaluación de todos los flujos financieros de costos y beneficios del producto o edificación a lo largo de su ciclo de vida, esto quiere decir que el CCV busca entender la sostenibilidad económica para saber si es favorable o perjudicial, si presenta un costo negativo o pérdida o si presenta un beneficio positivo o ganancia (García, Armengot, Ramírez, 2015). Para poder desarrollar el CCV en el sector AEC se encuentra presente la norma ISO 15686-5 que presenta las pautas a tomar en cuenta para el desarrollo de análisis. Cabe mencionar que la aplicación del CCV en el proceso de diseño es de gran utilidad en la toma de decisiones, ya que esta nos permite poner a prueba la rentabilidad económica del diseño, comparando y analizando la durabilidad de los materiales, el costo de construcción, costo de mantenimiento, el costo de uso, la ganancia por venta, etc.

1.8.3. Análisis social de ciclo de vida

El análisis social de ciclo de vida (ASCV, o Social Life Cycle Assessment, SLCA) está enfocado en el estudio de los aspectos e impactos socio-culturales y socio-económicos de los productos (UNEP/SETAC, 2009).

Esta metodología analiza factores sociales relacionados al producto o edificación, como lo son: necesidades básicas, salud, funcionalidad, accesibilidad, estética, seguridad, adaptabilidad, relación, etc. Debido a la complejidad o ambigüedad de los indicadores sociales aún se sigue realizando estudios que permitan desarrollar más esta metodología, no obstante actualmente se cuenta con la información necesaria para poder plantear su uso principalmente en el proceso de diseños de proyectos que sabes que tendrán impactos sociales individuales y colectivos (Cuerda, 2016).

1.8.4. Aplicación del ACVS en el sector AEC

ACVS es por ende la aplicación de las metodologías de análisis de ciclo de vida mediante las cuales se busca un equilibrio sostenible de los sectores ambiental, económico y social. Esta metodología se la puede usar para analizar una edificación ya existente como también para el proceso de diseño (ISO 15686, 2017). En algunos países Europa el uso de las metodologías como ACV y CCV, ya son obligatorias en el proceso de diseño y construcción, ya que esta metodología permite controlar los impactos futuros. En el siguiente diagrama se muestra la metodología de aplicación del ACVS para el desarrollo de edificaciones sostenibles, la edificación debe cumplir los requisitos establecidos en cada análisis para poder ser construida (Figura 6 y 7).

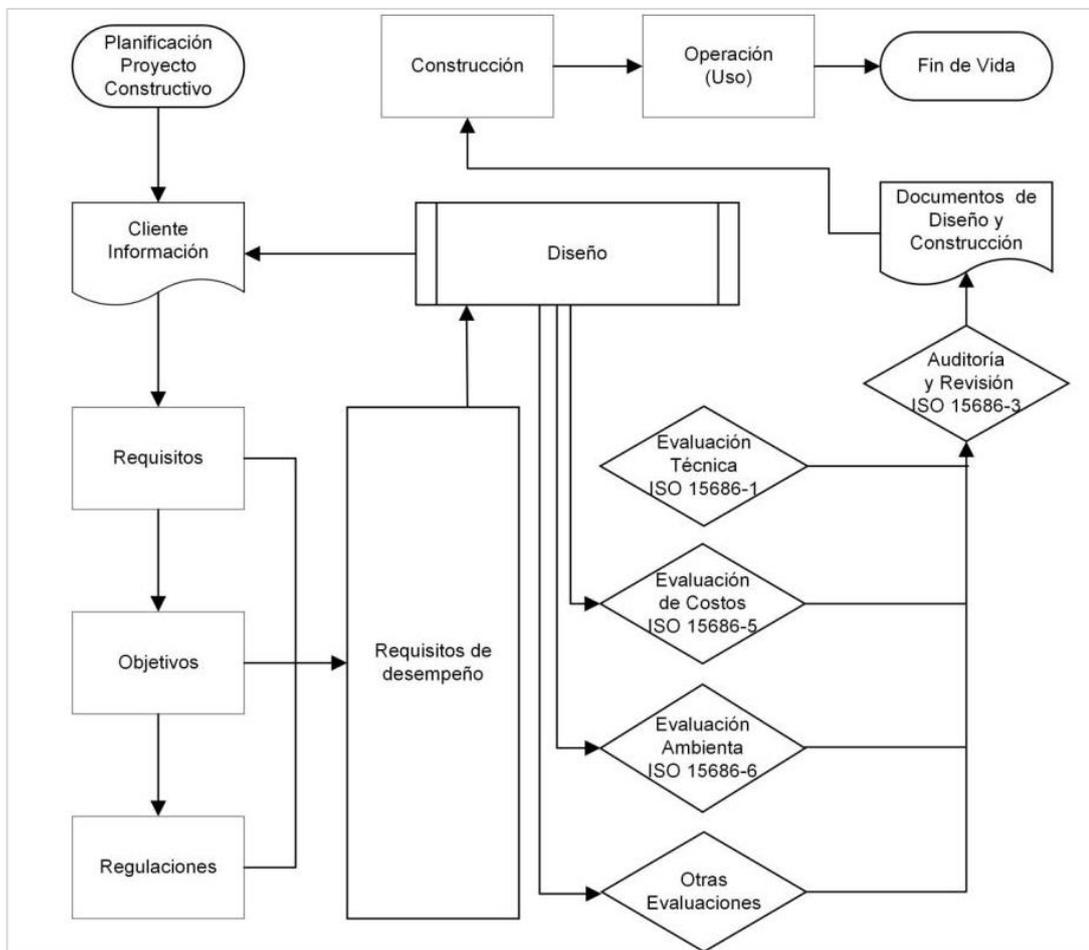


Figura 6: Diagrama de flujo de aplicación de ACVS en el proceso de diseño arquitectónico
Fuente: Norma ISO 15686 (ISO, 2017)
Elaborado por: El Autor

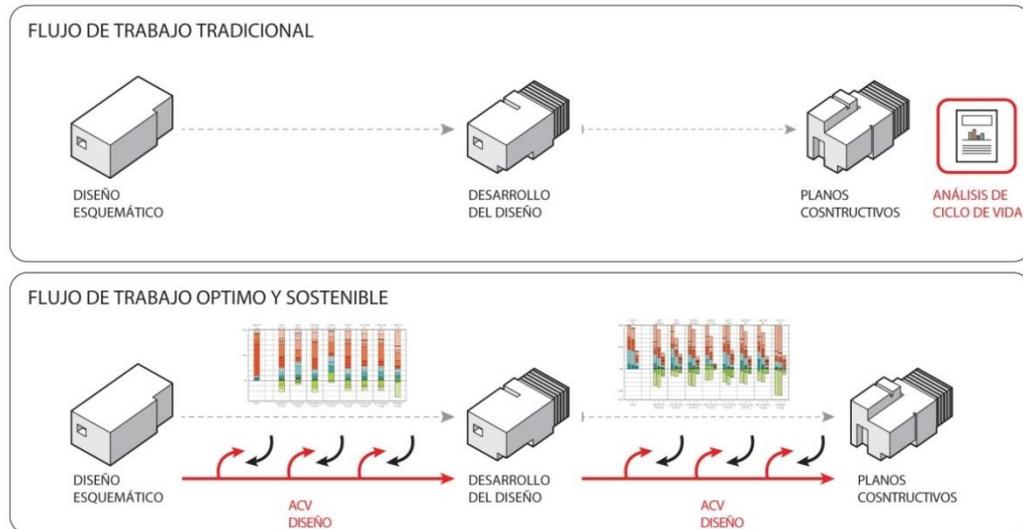


Figura 7: Diagrama de flujo de aplicación de ACVS en el proceso de diseño
Fuente: Norma ISO 15686.
Elaborado por: El Autor

1.9. La construcción, la huella urbana y los impactos ambientales

El crecimiento de las ciudades y de la huella urbana a través de los procesos constructivos y edificatorios causa una serie de impactos ambientales, sociales y económicos (Zabalza, 2011), estos impactos son reflejados en las emisiones de CO², gasto energético, cambio de uso de suelo, aumento de residuos, flujos económico, afectaciones sociales, entre otros indicadores. El incremento de los impactos tiene una relación proporcionalmente al crecimiento de las ciudades y aumento de edificaciones; de igual manera el crecimiento urbano es resultado del incremento de la población que está en constante crecimiento, esta nueva población causa un aumento de los procesos constructivos que busquen satisfacer las necesidades de los nuevos habitantes (Rees,1996). La primera necesidad a satisfacer es la de Vivienda, lo que la convierte en la edificación protagonista del crecimiento urbano y la tipología edificatoria que más impactos causa (Figura 8).



Figura 8: Crecimiento urbano descontrolado por déficit de vivienda
Fuente: elcomercio.pe. 2018
Elaborado por: El Autor

Los impactos sociales y económicos son los más notables a primera vista, el aumento de población trae consigo un aumento del capital privado y también el aumento de la inversión pública; de igual manera el crecimiento de la ciudad afecta a la población, la cual puede apreciar por ejemplo una mejora en su calidad de vida o por el contrario una afectación en su seguridad (He, Xu, Shen, Long, Chen, 2017). Por otra parte los impactos ambientales aparentemente no son tan percibidos por la población, no obstante las ciudades, el crecimiento urbano es responsable del 70% de los gases efecto invernadero generados y del 75% del consumo energético global, las ciudades también causa una gran consumo de los recursos naturales y el cambio de uso de suelo (ONU Habitat, 2017).

Por otra parte se considera que las edificaciones y los procesos constructivos a nivel global consumen el 40% de los recursos (Zabalza, 2011), puntualmente se sabe que consume cerca del 40% de arena, grava y piedra, el 25% de madera y el 16% de agua que se extrae a nivel mundial (Alarcón, 2005). El sector AEC también es responsable del 40% del consumo de energía y 38% de gases de efecto invernadero generados a nivel mundial (Ramachanderan, 2017); también es considerable notar que el 33% del gasto energético mundial está destinado a transporte, y el 27% va al funcionamiento del sector residencial, dos aspectos que dependen de acciones y decisiones urbanísticas y arquitectónicas; además, el proceso de construcción y deconstrucción de las edificaciones originan una gran cantidad de residuos en si el 25% de los residuos a nivel mundial (Alarcón, 2005).

1.9.1. Los impactos ambientales de la huella construida en el Ecuador

El crecimiento urbano en el Ecuador en las últimas décadas ha sido notable; en las grandes y medianas ciudades la mancha urbana ha crecido casi sin control. Este crecimiento urbano ha sido causante de algunos fenómenos como el cambio de uso de suelo, la expansión agrícola, la expansión descontrolada de las áreas pobladas, aumento de consumo energético, y aumento de emisiones de gases efecto invernadero. El crecimiento urbano en el Ecuador no se detiene, del 2013 al 2017 se solicitaron 142 097 permisos de construcción, estos permisos en su mayoría son para nuevas construcciones y construcciones de carácter residencial (INEC, 2018).

Los procesos de construcción en el Ecuador son causantes de gran cantidad de la materia prima explotada, y por tanto también es uno de los responsables de que las emisiones en GWP aumentaran de 86,4 millones de toneladas de CO²-eq en 1990 a 162,19 millones de toneladas en 2010, un incremento del 46,7% cada 10 años, siendo la explotación de materia prima primer causante de la producción de impactos GWP del País. El sector de la

construcción también guarda relación con el sector de transporte, el cual es necesario a lo largo del proceso de ciclo de vida de las obras arquitectónicas (MAE, 2012). Tanto investigadores como autoridades han notado el problema ambiental causado por los procesos constructivos en el país, no obstante las actuales políticas del Ecuador en el sector de la construcción no emiten leyes ni normas puntuales relacionadas al impacto ambiental, esta carencia de normas causan un desinterés por el correcto control de los impactos.

1.9.2. La huella urbana en la ciudad de Loja

El crecimiento urbano en ciudades medias ha ido en aumento, Loja ha sido la ciudad con mayor crecimiento urbano en el Ecuador, del 2001 al 2010 Loja tuvo un crecimiento del 82% de su huella urbana (Figura 9) y un crecimiento poblacional del 32% (SHAH, 2015).

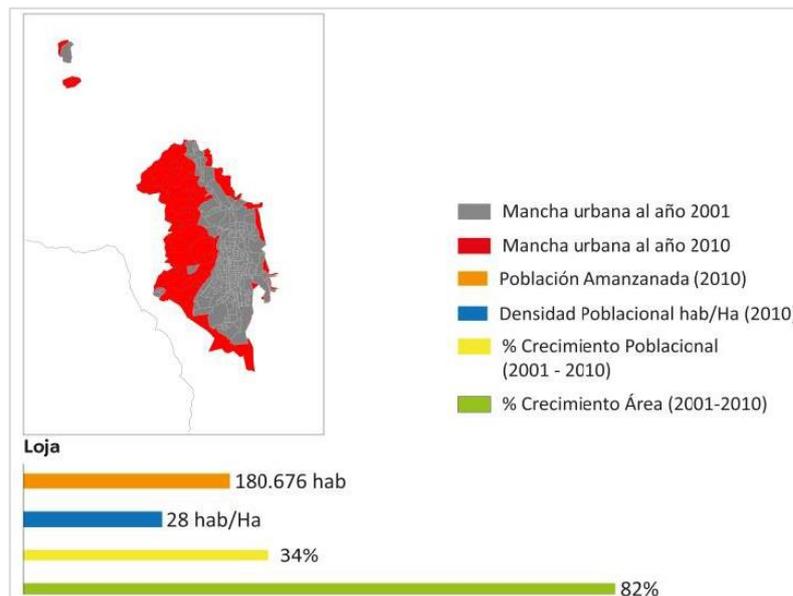


Figura 9: Crecimiento urbano de la ciudad de Loja
 Fuente: Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III (SHAH, 2015)
 Elaborado por: El Autor

La mayoría de las edificaciones construidas son inmuebles tipo Vivienda, no obstante aún existe un déficit de viviendas en la ciudad, lo que significaría que seguirá aumentando las edificaciones. El crecimiento de la ciudad no se detendrá y sigue agrandando la oculta problemática ambiental, del 2013 al 2017 se solicitaron 10 109 permiso de construcción en la provincia de Loja de los cuales el 75% son para la ciudad, y el 90% de estos son de carácter residencial (INEC, 2018). Si bien el aumento de las construcciones no se lo podría considera un problema, la falta de control del sector de la construcción y la falta de control ambiental relacionado a la construcción si se consideraría un problema.

Al decir que el crecimiento constante de la ciudad y el aumento de la construcción es proporcional a los impactos ambientales que causa, esto es preocupante si tomamos como ejemplo la ciudad de Loja, que como se demostró es una ciudad con un crecimiento considerable.

1.10. La vivienda y los impactos ambientales

La edificación residencial o vivienda es la respuesta a la necesidad del ser humano por tener un refugio o un lugar para habitar, debido a esto se podría decir que la vivienda es la edificación de mayor importancia del sector AEC. La Vivienda es la protagonista principal del crecimiento urbano y de los procesos constructivos, también es la edificación más construida a nivel mundial tanto de manera colectiva como individual, no obstante la vivienda particular o individual es la mayormente edificada.

Una vivienda vista individualmente no presentaría mayor impactos que una edificación de mayor área como puede ser un hospital, colegio u aeropuerto, no obstante las viviendas implican más del 90% de todas las edificaciones construidas a nivel mundial y al ser la edificación más construida también son las que más impactos causa de manera colectiva (García, 2010). El problema es que normalmente se ve a la vivienda de manera individual y no colectiva, y por ende no se le da la importancia que merece, no obstante esto no significa que la vivienda deje de ser el mayor punto de problemas e impactos a nivel social, ambiental y económico. La siguiente imagen presentada por The New York Times y nombrada “La nación de los suburbios” muestra la problemática relación entre crecimiento urbano, la construcción y la vivienda típica en los Estados Unidos (Figura) (Wallace, 2018).

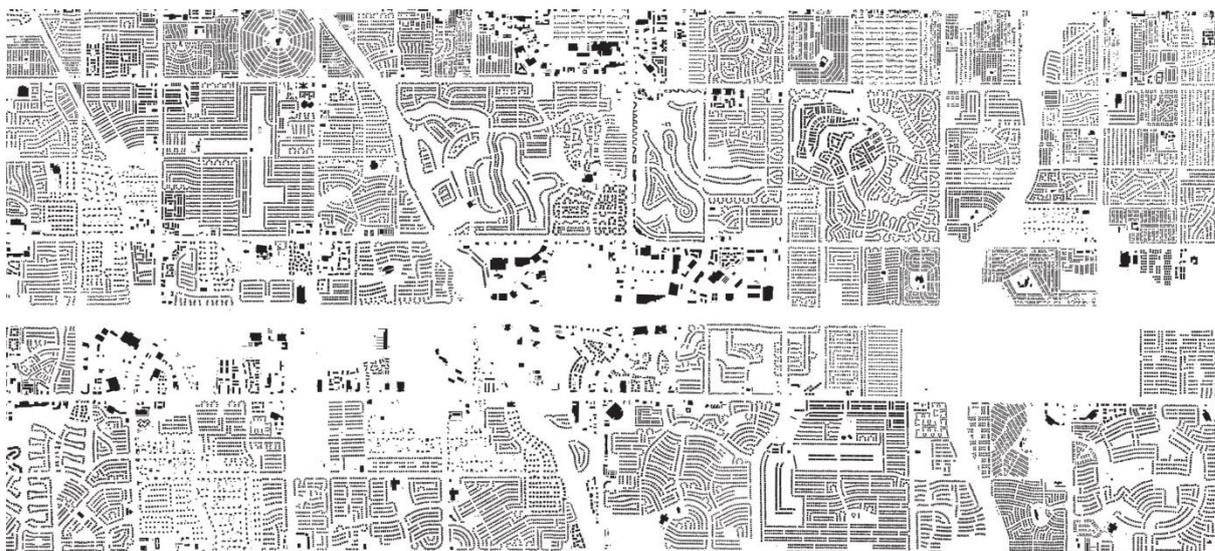


Figura 10: La nación de los suburbios

Fuente: The New York Times: A Map of Every Building in America (Wallace, 2018)

Elaborado: El Autor

El arquitecto Le Corbusier resume perfectamente la problemática de la vivienda y sus impactos en un pequeño gráfico (Figura 11), con este afirma que si bien una vivienda es un “sueño” para las personas, pero si multiplicamos este “sueño” por dos millones se convertiría en una pesadilla. Esta pesadilla causa impactos, como el uso de grandes extensiones de terreno, el aumento de las distancias de transporte, el uso masivo de materia prima, el gasto de energía para su funcionamiento, etc. Esto lo dijo Le Corbusier en 1936 en una publicación nombrada “What is the American Problem?”, no obstante hemos notado que este problema no se ha solucionado, más por el contrario se ha expandido (Bacon, 2001).

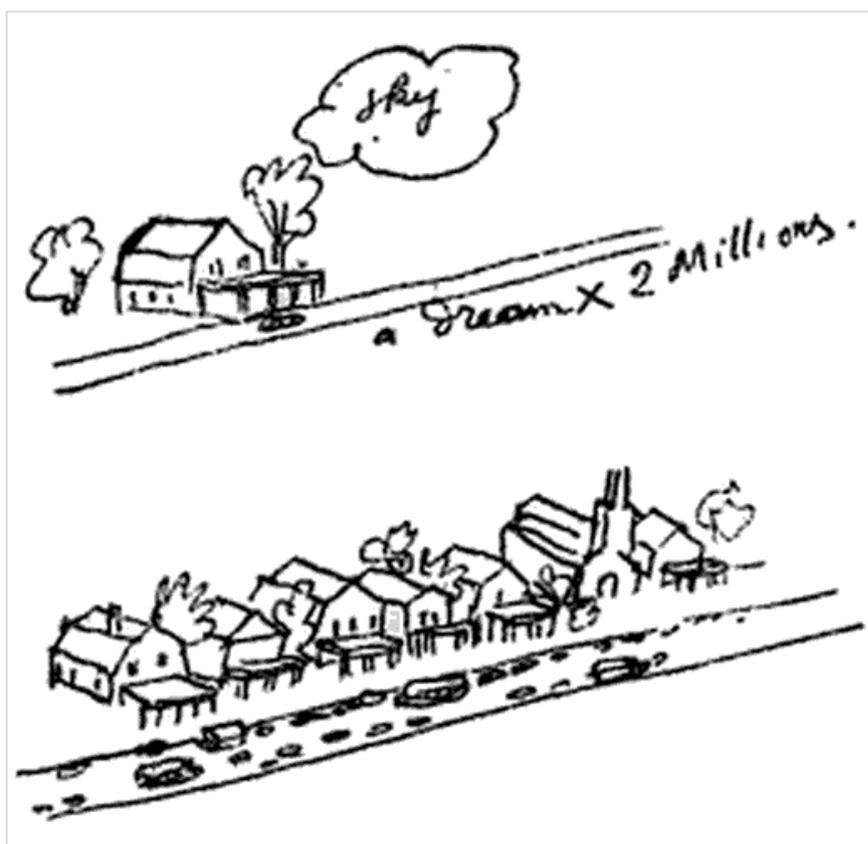


Figura 11: Un sueño x 2 millones = Una Pesadilla
Fuente: Le Corbusier in America: Travels in the Land of the Timid. (Bacon, 2001)
Elaborado por: El Auror

La vivienda como objeto causa una serie de impactos ambientales, desde la extracción de materia prima, las emisiones de gases efecto invernadero, el consumo energético, generación de residuos, etc, si hacemos como Le Corbusier y multiplicamos estos impactos por el numero existentes de vivienda podríamos entender cuál es la verdadera problemática, y porque es necesario buscar una manera de analizar y disminuir los impactos causados por las viviendas.

1.10.1. La vivienda en Loja

Según el censo del 2010 en el Ecuador existen 3 748 919 viviendas no obstante el 36% de los hogares del Ecuador tiene un déficit cualitativo de vivienda y el 9% tiene un déficit cuantitativo, esto implica que se construirá más viviendas, esto es notable ya que en los últimos seis años se solicitaron más de 140 mil permisos de construcción para viviendas nuevas.

En la ciudad de Loja las viviendas pasaron de ser 31 705 en el año 2001 a 51 515 en el año 2010, pese a este incremento la demanda de vivienda se mantiene. Se sabe que en el 2018 solo el 51% de la familias de la ciudad tienen vivienda propia, y que existe un déficit de más de 22 000 viviendas (Crónica, 2018). El déficit ha llevado a los ciudadanos propietarios, las entidades privadas y entidades públicas a buscar la manera de edificar más viviendas, siendo esto causante de que en los últimos seis años se solicitaran más de 6000 permisos de construcción para edificaciones residenciales individuales nuevas en la ciudad de Loja, todas estas con características similares en cuanto a superficie construida y materialidad, en el último año 2017 fueron 1194 permisos en la ciudad (INEC, 2018), esta problemática de la vivienda y la ciudad de Loja también se lo puede expresar mediante el cálculo de Le Corbusier.

La problemática de la vivienda y sus impactos también se debe a que en el Ecuador y en Loja no existen leyes que normalicen el control de los impactos causados por las edificaciones de vivienda; las normas usadas para el desarrollo de la vivienda en la ciudad únicamente se enfocan en los parámetros técnicos, constructivos y espaciales, no obstante descuidan gravemente los aspectos ambientales y sociales, podemos generalizar y decir que todas las viviendas de la ciudad de Loja fueron realizadas sin un correcto análisis ambiental que las respalde y que en Loja existe un problema creciente de impactos ambientales causados por las edificación tipo vivienda.

1.11. Vivienda social y vivienda en masa

De manera general se ha llamado vivienda de interés social o vivienda social a la edificación residencial que busca satisfacer la demanda de vivienda de bajo costo para personas de bajos recursos económicos y que cuenta con el apoyo de entidades gubernamentales para su desarrollo (Haro, 2014); cabe mencionar que el término Vivienda Social no tiene una definición exacta.

Se puede decir que el término “Vivienda Social” nace en la revolución industrial, cuando la migración de gran cantidad de personas a las ciudades en busca de trabajo en las fábricas, causo un enorme déficit de vivienda obrera, siendo los gobiernos y los empresarios los encargados de apoyar económicamente la construcción de vivienda de bajo costo que pueda ser adquirida o alquilada por los obreros. En la actualidad la problemática no ha cambiado mucho, la migración constante a las ciudades, el crecimiento de la población y el déficit ya existente causan que los gobiernos y entidades públicas busquen la manera de ofrecer inmuebles económicos y realizar proyectos de vivienda social para suplir las demandas de vivienda (Maldonado, 2016).

Los proyectos de interés social pueden ser planificados y desarrollados de diferente manera como viviendas unifamiliares o colectivas, etc, no obstante la forma de organización más usada en proyectos habitacionales es la de viviendas unifamiliares en masa (Figura 12).



Figura 12: Alta densidad, típicas unidades habitacionales de interés social
Fuente: Alta densidad, Jorge Toboada (Toboada, 2018)
Elaborado por: El Autor

Este tipo de desarrollo y organización de proyectos de carácter social implica el diseño de una o varias viviendas tipo y la multiplicación consecutiva de las mismas. Esta metodología es usada por múltiples razones, como la aparente disminución de costo de diseño y construcción, y el objetivo de entregar una vivienda particular a cada familia sin importar que la vivienda entregada sea un prototipo igual a las demás. En este contexto es mucho más entendible el problema plasmado por Le Corbusier.

La problemática de la vivienda sus los impactos ambientales es aún mayor cuando se trata de vivienda de carácter social en masa. Los proyectos de vivienda social por lo general son planificados para construir en un periodo específico de tiempo, lo que implica un impactos puntual en la extracción de materia prima, la producción y construcción; estos proyectos también suelen ser en su mayoría ubicados en sectores periféricos o alejados del área urbana, lo que implica un problema de accesibilidad causando un mayor consumo de energía y mayor producción de emisiones de CO₂ por el transporte de las personas y los materiales. La selección de la materialidad para el desarrollo de las viviendas sociales es otro problema, por lo general se utilizan los sistemas constructivos comunes del contexto urbano, mas no existe un análisis previo para su selección. El diseño y construcción de las viviendas también es causante de problemas a nivel técnico como funcional, causando impactos ambientales, económicos y sociales para los usuarios (Martins, 2011).

Posiblemente el mayor problema que tienen la mayoría de proyectos de vivienda social es que para su diseño, planificación y realización no cuentan con análisis y estudios previos sobre impactos ambientales, económicos y sociales; por el contrario la mayoría de proyectos se enfocan en disminuir el costo de construcción y costos por m² de obra, si se limitan en cumplir las normas estructurales de diseño no obstante los aspectos sociales, económicos y ambientales son descuidados (Maldonado, 2016., Haro, 2014).

1.11.1. Vivienda Social en Ecuador y Loja

El fenómeno de la vivienda de interés social en nuestro país lleva 70 años de historia y sin embargo hasta la fecha no se ha logrado llegar a una respuesta acertada. Para combatir este déficit de vivienda del ecuador entidades públicas y empresas privadas optan por ofrecer inmuebles contruidos o por construir (GAD Loja, 2014).

A nivel nacional el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) es la encargada de garantizar a las personas el acceso al hábitat seguro y a la vivienda digna de acuerdo a lo establecido en el art. 30 de la constitución ecuatoriana; actualmente el MIDUVI está a cargo

del plan “casa para todos” que busca construir 325 000 viviendas sociales de bajo costos a nivel nacional, para satisfacer el la demanda de viviendas y disminuir el déficit de vivienda.

En el caso de la ciudad de Loja los proyectos de vivienda social se han venido desarrollando desde los años setenta, formando parte importante en el desarrollo de la ciudad, en la siguiente imagen se muestran todos los proyectos públicos de vivienda social realizados hasta la fecha (Figura 13).

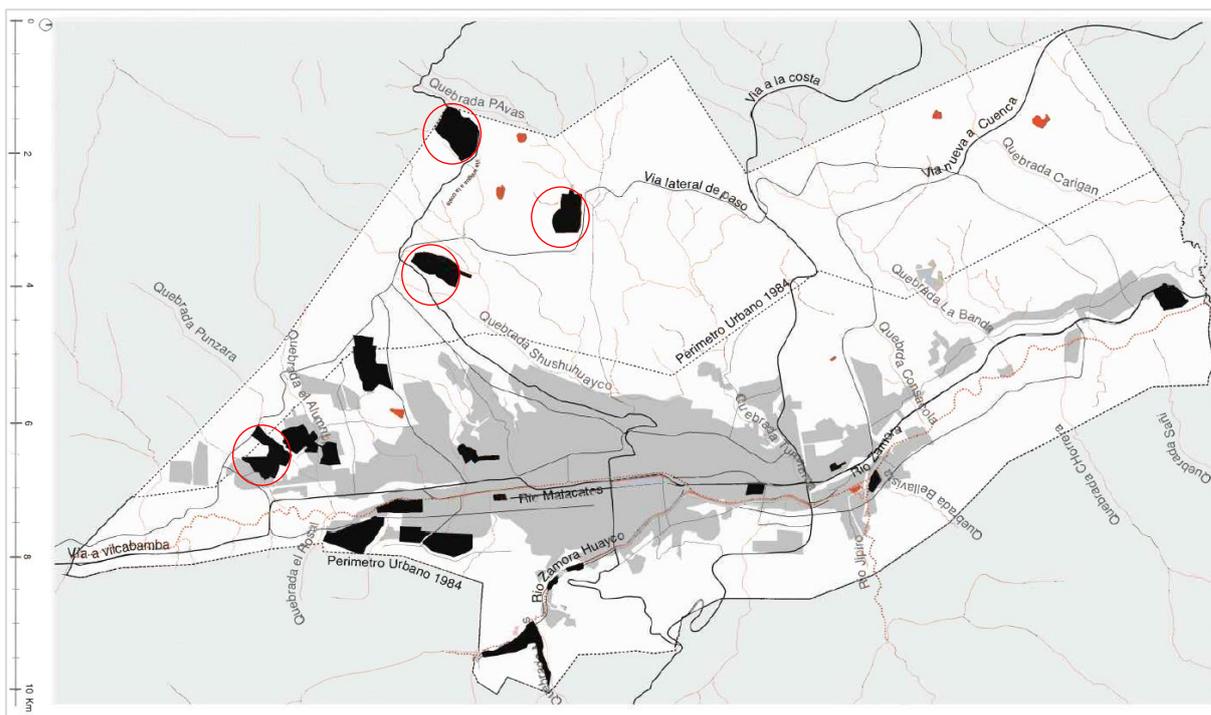


Figura 13: Manchas de proyectos habitacionales de carácter social de la ciudad de Loja
Fuente: (Cuenca, 2016)
Elaborado: El Autor

Debido al problema de déficit de vivienda de las últimas décadas el GAD-Loja crea en 2005 el VIVEM-EP cuya misión es la de ejecución de programas habitacionales de interés social a nivel de lotes con servicios y proyectos de vivienda confortable a bajo costo, para dignificar las condiciones de vida de las familias lojanas. El VIVEM ha desarrollado en total 4 proyectos habitacionales de vivienda social, todos estos proyectos suman en total 2 536 viviendas unifamiliares y 352 viviendas en departamentos (Figura 14).

Uno de los proyectos más importantes es el de Ciudad Alegría en 2011, este es relevante por su área construida, su tipología de vivienda, características técnicas y los percances y problemas presentados en el proceso de construcción. El proyecto de Ciudad Alegría cuenta con 617 viviendas unifamiliares de 92m² y 352 de 63m² departamentos comprendidos en 21 edificios de 4 plantas.

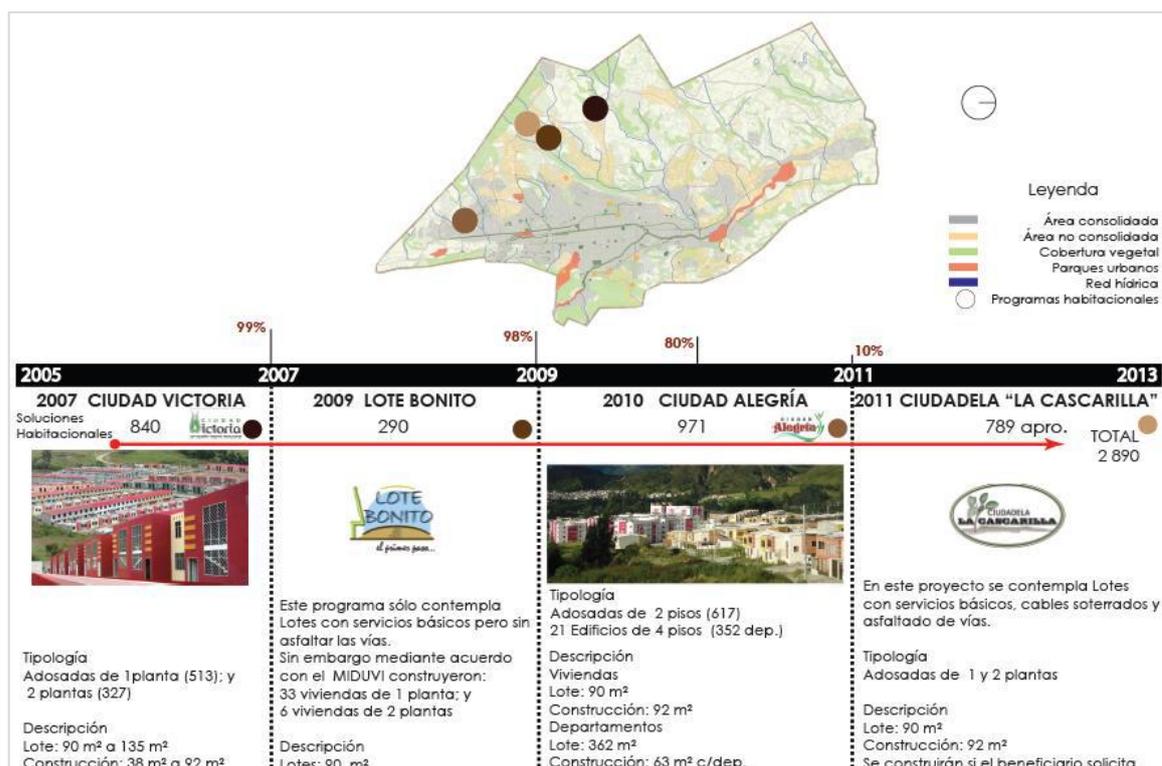


Figura 14: Proyectos habitacionales realizados por el VIVEM.

Fuente: Proyecto de vivienda social Ciudad Alegría (Rivera, 2017)

Elaborado: El Autor

En los proyectos habitacionales de interés social del MIDUVI y del VIVEM tienen como mayor problemática que para su diseño, planificación y realización no cuentan con análisis y estudios previos sobre impactos ambientales, económicos y sociales; en ocasiones tampoco cuentan con los estudios técnicos necesarios, como fue el caso del proyectos Ciudad Alegría para el cual no se habrían realizado análisis de suelos y análisis estructurales, esto debido a que se buscaba la disminución del costo del diseño y al notable descuido por partes de personal encargado del diseño y desarrollo de la obra (Rivera, 2017).

En el Ecuador y en Loja tampoco existen normas establecidas para el análisis y control de impactos en proyectos de vivienda de interés social, más por el contrario las únicas normas utilizadas para diseñar, desarrollar y fiscal los proyectos de interés social se enfocan únicamente en el diseños técnico y espacial necesario para el desarrollo de viviendas mínimas y de bajo costo. Uno de los principales problemas notados en relaciona al desarrollo de la vivienda social en la ciudad de Loja es que se enfocan los esfuerzos en buscar la manera de disminuir los costos de construcción de la vivienda, no obstante no existe el mismo interés por solucionar los problemas sociales, económicos y ambientales.

Podremos afirmar que las edificaciones tipo vivienda son las mayores causantes de impactos ambientales, más aun cuando no fueron diseñadas ni planificadas correctamente. Los proyectos de vivienda de interés social deberían ser los más controlados, normalizados,

analizados y estudiados, no obstante estos proyectos son muy descuidados en el aspecto sostenible por lo tanto son los más contaminantes en especial cuando conlleva procesos de construcción de viviendas en masa.

1.12. La doble problemática ambiental de la vivienda social

Se podría resumir y afirmar que la vivienda de carácter social puede ser tan beneficiosa como perjudicial. Cada año aumenta la demanda de vivienda, y las nuevas familias buscan una manera de solucionar su problema de déficit de la mano de los gobiernos y las empresas privadas no obstante resolver el problema habitacional en su totalidad causaría un problema ambiental tan grande que la huella del carbono emitida destruiría el planeta (Figura 15). En este caso diremos que si no resolvemos el problema de déficit tendremos un problema social y habitacional y si resolvemos tendremos un enorme problema ambiental.



Figura. 15 Demanda de vivienda, una problemática creciente.
Fuente: www.iadb.org, 2018
Elaborado por: El Autor

Debido a este doble problema se desarrolla el trabajo de investigación, en el cual se busca aplicar la herramienta de análisis de ciclo de vida como un metodología de desarrollo sostenible e que no permita calcular, interpretar y entender los impactos causados por la vivienda social en la ciudad de Loja, y con esto poder llegar a conclusiones de aplicación del ACV y estrategias ambientales que permitan disminuir el impacto de los futuros proyecto de vivienda.

CAPÍTULO II
DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

2.1. Introducción capitular

En este capítulo se describe la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) la cual será usada para el desarrollo del trabajo investigativo para realizar una evaluación ambiental de la vivienda tipo Ciudad Alegría y también una evaluación de sistemas constructivos.

Se partirá de la definición, origen, y evolución del ACV a lo largo de estas cinco décadas hasta el momento actual, enfocándonos en su aplicación en el sector de la arquitectura, ingeniería y construcción. En esta descripción se incluye una breve explicación de las etapas interrelacionadas en las que se organiza el ACV, especificando los elementos esenciales para su comprensión y proporcionando las referencias básicas para profundizar en su estudio. Se finalizará el capítulo presentando la metodología simplificada de ACV que se utilizará para el análisis de la vivienda tipo y los sistemas constructivos.

2.2. Introducción al concepto de Ciclo de Vida en la Construcción

Todos los objetos cumplen con una serie de etapas de transformación a lo largo de toda su vida útil, la compilación cronológica de estas etapas se las conoce como ciclo de vida. Las edificaciones como cualquier otro objeto también cumplen un ciclo de vida, desde su creación, hasta su desecho, o como se conoce “de la cuna a la tumba” o también “de la cuna a la cuna”, como se muestra en la figura (Figura 16).



Figura 16 : Ciclo de Vida de los Objetos
Fuente: Proyecto "EnerBuiLCA" (Zabalza, 2012)
Elaborado por: El Autor

Conocer el ciclo de vida de las edificaciones y cada una de sus etapas nos permite entender y analizar las entradas, salidas e impactos de la edificio de una manera más metódica y ordenada; el ciclo de vida también nos demuestra que es a pesar de que la etapa de uso de la edificación se podría considerar la más contaminante, también es importante analizar el resto de las etapas (Zabalza, 2012).

2.3. Análisis de ciclo de vida (ACV)

Ante la problemática y necesidad de evaluar los impactos ambientales de los procesos, productos y construcciones se contempla la metodología ACV (Wadel, 2010). El ACV según la norma ISO 14040 es una metodología de evaluación medioambiental y una herramienta de análisis de impactos asociados con un producto o proceso. Esta metodología nos permite conocer cuáles y cuantos son los impactos que causa un proceso mediante un inventario de entradas y salidas de indicadores relevantes (Figura 17), también nos permite analizar los impactos, interpretarlos, comunicarlos y plantear estrategias para disminuir los impactos negativos y aumentar los positivos (ISO, 2006).

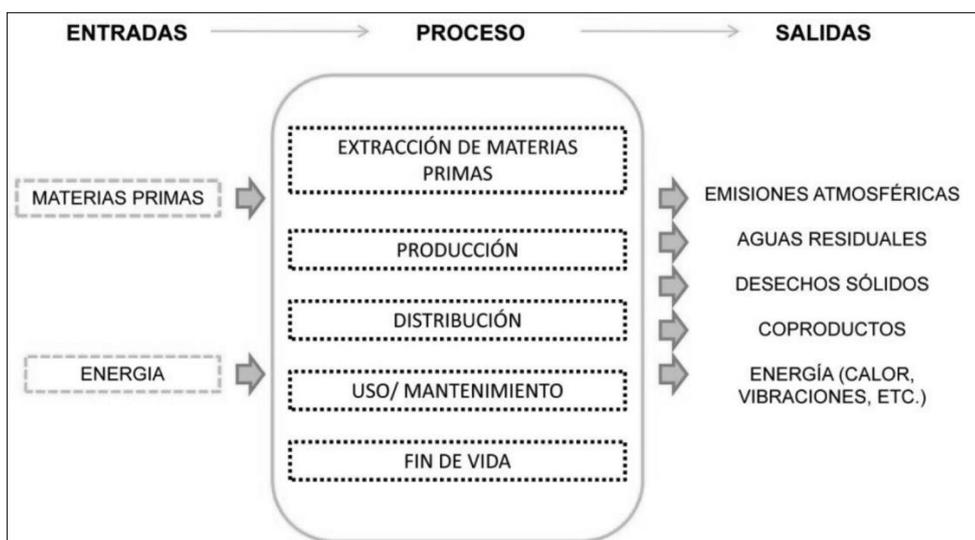


Figura 17. Sostenibilidad percibida y expresada por la sociedad en general
 Fuente: El autor
 Elaborado: El Autor

2.3.1. Antecedentes Históricos Análisis de ciclo de vida

La historia del ACV empieza en los años 60 con la evaluación de envases, no obstante al paso de los años se notó la importancia de poder realizar una evaluación ambiental a diferentes productos y en diferentes sectores productivos. El ACV fue el tema de muchas investigaciones y también organizaciones internacionales se enfocaron el desarrollo de la metodología ACV, esto incluye su aplicación en el sector de la construcción. Actualmente el ACV es considerado como la mejor herramienta para realizar evaluaciones de impactos.

Todo esto se explica en la tabla siguiente (Tabla 4):

Tabla 4. Cronología de los Antecedentes históricos del ACV

Año	Precursor	Aportes
1969	Midwest Research Institute (MRI)	<ul style="list-style-type: none"> • Primer estudio de ACV: Resources and Environmental Profile Análisis (REPA) • Evaluación de los diferentes envases de Coca Cola
1972	Ian Bousted	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación metodología ACV- REPA para análisis de envases de leche de diferentes materiales
	Open University	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación en la decisiones de materiales óptimos en envases
	BMBF(Alemania)	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del ACV para análisis de embalajes y envases plásticos y sus residuos
1973	Investigadores	<ul style="list-style-type: none"> • Investigaciones sobre consumo de energía en etapas de producción
1974	MRI	<ul style="list-style-type: none"> • El término "Ecobalance" es estudiado en Europa
1971	Investigadores	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación "Handbook of Industrial Energy Analysis" • Se definen más etapas del ciclo de vida
1980	Lan Boustead	<ul style="list-style-type: none"> • Teoría termo-económica del coste energético • La consideración de los costes ambientales y energéticos de la producción
1984	EMPA	<ul style="list-style-type: none"> • Swiss federal laboratories for material testing and research (EMPA)
		<ul style="list-style-type: none"> • Se plantean metodologías para cuantificación de impactos
1993	SETAC	<ul style="list-style-type: none"> • Primera definición de ACV • Guías que sistematizaron la metodología ACV y sus aplicación
	Investigadores	<ul style="list-style-type: none"> • Se publican investigaciones sobre ACV en diversas revistas científicas
1996	SETAC	<ul style="list-style-type: none"> • Publicación del informe de aplicación de ACV "Towards a Methodology for LifeCycle Impact Assessment"
1998	ISO	<ul style="list-style-type: none"> • Publicación de la serie ISO 14040 sobre la metodología ACV y su aplicación
2000	ONU, UNEP y SETAC	<ul style="list-style-type: none"> • Iniciativa del Ciclo de Vida: "desarrollar y difundir herramientas prácticas para evaluar impactos asociados a los productos en las etapas de ciclo de vida" • Declaración de Malmo (2000)
2002		<ul style="list-style-type: none"> • Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible (CMDS) de Johannesburgo (2002)
2005	Unión Europea Comisión Europea	<ul style="list-style-type: none"> • La UE señala que el ACV es la mejor herramienta para evaluar los impactos ambientales
		<ul style="list-style-type: none"> • Creación de la "European Platform of Life Cycle Assessment", "International Reference Life Cycle Data System" y la "European Reference Life Cycle Database".
2006	ISO	<ul style="list-style-type: none"> • Actualización de la serie ISO 14040 a ISO 14044 sobre la metodología ACV
2010	ISO	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación del ACV en el sector AEC y publicación de la norma ISO 21031-1
2011	SETAC	<ul style="list-style-type: none"> • Publicación del informe "Towards a life cycle sustainability assessment: marking informed choices on products"
		<ul style="list-style-type: none"> • Definición del Análisis de ciclo de vida para la sostenibilidad (ACVS)
2012	CEN	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación del ACV en el sector AEC en España y Europa en la norma UNE-EN 15978, UNE-EN 15804, UNE-EN 15643
Hoy	Investigadores Organizaciones	<ul style="list-style-type: none"> • El ACV sigue siendo la herramienta más óptima para el análisis de impactos ambientales, sociales y ambientales.
		<ul style="list-style-type: none"> • El ACV es estandarizado y en países de Europa aplicado por norma en el sector de producción y construcción.
		<ul style="list-style-type: none"> • Se han creado una serie de softwares para la aplicación del ACV en el sector de la producción y construcción.
		<ul style="list-style-type: none"> • Se han realizado múltiples estudios y publicaciones del ACV en la construcción no obstante en países en vía de desarrollos la aplicación y concomimiento del ACV es muy escaso

Fuente: Ecodiseño (Zabalza,2013), (Soust-Verdaguer 2017).

Elaborado por: El Autor

2.3.2. Definición ACV

Existen algunas definiciones del ACV, no obstante las más importantes y precisas son dadas por las entidades SETAC e ISO. La SETAC define: “El ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificativo y cuantificado el uso de materia, energía y los vertidos al entorno” (SETAC, 2015)

Por otra parte en la norma ISO 14040 se define el ACV como: “Una técnica para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso o actividad mediante: la recolección de un inventario de las entradas y salidas de materia y energía relevantes de un sistema; la evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con esas entradas y salidas; y la interpretación de los resultados de las fases de análisis y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio” (ISO 14040, 2006).

2.3.3. Etapas y aplicación del ACV

El ACV está dividido en cuatro etapas relacionadas entre sí, cada una de estas etapas cumple un papel específico para que el análisis ambiental sea correcto (ISO 14040, 2006). Por otra parte la aplicación de la metodología ACV en el sector de la construcción se ha visto enfocada en la disminución de los impactos a través de mejoramiento de sistemas de producción, selección de materiales e investigación y desarrollo en el sector AEC (Figura 18).

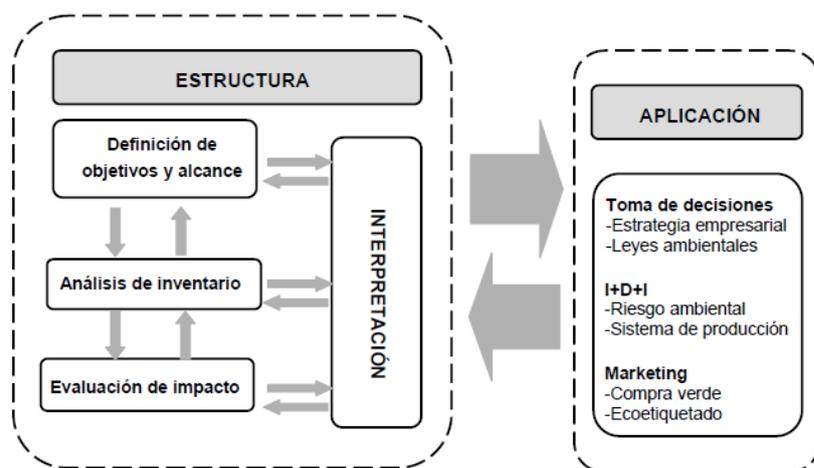


Figura 18. Etapas de un análisis de ciclo de vida y aplicaciones

Fuente: Realizado por el autor. (2017).

Elaborado por: El Autor

2.3.4. Normas de referencia para la aplicación de ACV

A los largo de los últimos años se ha desarrollado una serie de normas sobre la metodología ACV, estas normas tratan la aplicación ACV en sectores de producción como también en sector de la construcción. Las normas detallan la metodología a seguir para realizar el ACV, las etapas a cumplir y el procedimiento metódico para realizar los análisis ambientales de productos. Las normas principales sobre análisis de ciclo de vida son las normas de la serie ISO 14040, como se muestra la siguiente tabla (Tabla 5).

Tabla 5. Normas básicas de ACV de la serie ISO 14040.

Organización	Norma	Nombre
ISO	ISO 14040:2006	Principios y marco de referencia.
Organización Internacional de Normalización	ISO 14041:1998	Definición del objetivo y alcance y análisis del Inventario de ciclo de vida
	ISO 14042:2000	Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Evaluación del impacto del ciclo de vida
	ISO 14043:2000	Evaluación de mejoras o Interpretación
	ISO 14044:2006	Requisitos y directrices

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

En el caso del sector de la arquitectura, ingeniería y construcción también se han creado normas en relación al uso de ACV. Dichas normas detallan la aplicación del ACV para el análisis ambiental de una edificación; estas normas permitirán también definir la metodología a plantear en este trabajo de tesis. Las principales normas son las que se muestran en la tabla siguiente (Tabla 6).

Tabla 6. Normas básicas de aplicación de ACV en el sector AEC

Organización	Norma	Nombre
ISO	ISO 21929:2011	Sostenibilidad en la construcción de Edificios. Indicadores de Sostenibilidad
Organización Internacional de Normalización	ISO 21930:2007	Sostenibilidad en la construcción de Edificios. Declaraciones Ambientales
	ISO 21932:2013	Sostenibilidad en la construcción de Edificios. Terminología
	ISO 15392: 2008	Sostenibilidad en la construcción. Principios Generales
	ISO 15686: 2008	Edificios y bienes construidos - Planificación de la vida útil.
AEN Asociación Española de Normalización	UNE-EN 15978:2012	Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.
	UNE-EN 15804:2014	Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.
	UNE-EN 15643:2012	Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios.
	UNE-EN 15941: 2010	Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto.

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

2.4. Metodología ACV aplicada al sector AEC

Al aplicar la metodología ACV para realizar el análisis ambiental de una edificación, se contempla la misma estructura estipulada en las normas ISO 14040 (Figura 19), no obstante cada una de las etapas que contempla esta estructura se las debe enfocar en el sector de la construcción y en la edificación a analizar, para esto se aplicaría lo establecido en a la norma UNE-EN: 15978.

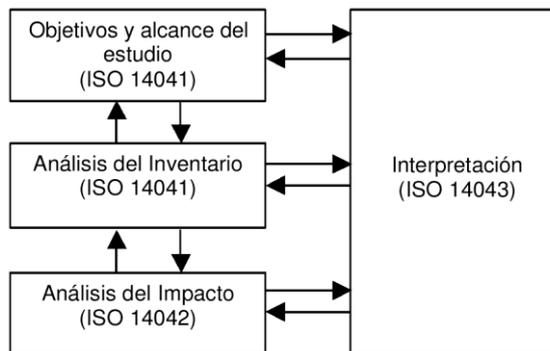


Figura 19. Etapas de un análisis de ciclo de vida y aplicaciones
Fuente: (UNE-EN: 15978)
Elaborado por: El Autor

2.4.1. Objetivos y Alcance

En esta etapa se establecen las razones, objetivos, unidades y límites para la realización del ACV. Tanto la norma ISO 14040 y la EN 15978 especifican que en esta etapa se debe especificar de manera puntual el objeto a tratar en el ACV, el alcance que tendrá el análisis y el nivel de profundidad de la evaluación. Se podría entender que la etapa de Objetivos y Alcance es un marco teórico que recopila la información básica y necesaria para el correcto desarrollo de la evaluación. En la siguiente tabla se especifican las acciones a tomar en esta etapa según las normas de ACV (Tabla 7).

Tabla 7. Objetivo y alcance del ACV

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la persona u organismo que se encarga del estudio • Razones para llevar a cabo el estudio y tipo de información que se espera obtener • Aplicación prevista del estudio • Destinatario previsto del estudio
Alcance	<ul style="list-style-type: none"> • Funciones del sistema en estudio, definición del objeto (edificación o sistema) a analizar • Selección de la unidad funcional • Descripción del sistema u objeto (edificación o sistema) en estudio • Establecimiento de los límites del sistema • Establecimiento de las reglas de asignación de cargas ambientales en el ICV • Tipos de impacto a evaluar, metodología e interpretación • Hipótesis y limitaciones • Requisitos de calidad de los datos

Fuente: El Autor
Elaborado por: El Autor

2.4.1.1. La unidad funcional

Según la norma ISO 14040 es: “cuantificación de la función de un sistema del producto, que se utiliza como unidad de referencia en el estudio de ACV” (ISO 14040:2006). La unidad funcional es necesaria para calcular y compara los datos del análisis ACV, esta unidad tiene que referirse a las entradas y salidas del sistema de estudio. Para definir esta unidad debemos basarnos en la función del sistema a analizar, esta unidad debe ser frecuente a los largo del ciclo de vida de sistema. La unidad debe permitirnos realizar cálculos comparativos y matemáticos, en las diferentes etapas del ACV del sistema (Rivera, 2012).

Las unidades funcionales varían en base a las características del sistema analizado, en el caso de estudio de edificaciones y sistemas constructivos algunos de las unidades más utilizadas están en relación a los elementos constructivos y materiales como por ejemplo el m² de pared y el m³ de hormigón armado, no obstante a la hora de analizar una edificación completa se debe buscar una unidad que permita relacionar matemáticamente los datos, en este caso la unidad más utilizada es el Kg de masa, y se usa como función de cálculo la unidad de densidad (ρ) que relaciona masa (kg) y volumen(m³) (Soust-Verdaguer, 2016).

2.4.1.2. Límites de Sistema

Según la norma ISO 14040 los límites del sistema son el conjunto de criterios que definen cuáles serán los procesos unitarios que se analizaran (ISO 14040:2006). Es decir que los límites de sistema especifican los escenarios, sistemas y etapas de ciclo de vida del producto que serán analizadas. La selección de los límites o etapas del ciclo de vida dependerán de cuál es el objetivo del estudio ACV a realizar (Soust-Verdaguer, 2016). Se considerará las etapas especificadas en la norma EN 15978 (Figura 20).



Figura 20. Fases y etapas del ciclo de vida de un edificio

Fuente: EN 15978

Elaborado por: El Autor

2.4.1.3. Requisitos de calidad de los datos

Una de las problemáticas presentes en el desarrollo del ACV es la fiabilidad sobre los datos e información con los que se trabajara (Llanes, 2006). Es importante contar con una fuente fiable de datos a la hora de trabajar el ACV, para el cálculo de materiales y sistema es recomendable acudir a la fuente original de inflación, en el caso del análisis de vivienda es recomendable acudir a los planos y especificaciones técnicas de la misma; también es recomendable aplicar el redibujo mediante tecnologías BIM que nos permitan obtener los datos en base a un modelo 3d que contiene la información más relevante (Soust-Verdaguer, 2016). En el caso de los datos relacionados a impactos ambientales es recomendable acudir a fuentes confiables (Zabalza, 2010), la fiabilidad de los datos dependerá de que cumplan los siguientes requisitos:

- Cobertura temporal (antigüedad de los datos y de sus fuentes)
- Cobertura espacial (pueden ser local, regional, nacional y global)
- Cobertura tecnológica
- Precisión
- Representatividad y reproductividad
- Consistencia
- Fuentes fiables

2.4.2. Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

Esta etapa del ACV es un proceso técnico de recolección, cuantificación, descripción y verificación de todos los datos necesarios para el análisis; los datos recopilados son de entradas, salidas, materiales, emisiones, indicadores, etc. Según establece la norma ISO 14041 en esta etapa se da los balances de entradas y salidas del sistema, y se presenta a través de tablas los datos finales del inventario, estos datos deben cumplir con los requisitos de calidad y estar referidos a la unidad funcional establecida en el análisis (ISO 14041, 1998). Esta etapa incluye los siguientes pasos a seguir:

- Diagramas de flujo, conforme al objeto a analizar y los límites del sistema.
- Recolección de datos cualitativos y cuantitativos del objeto o sistema a analizar
- Datos de cargas ambientales referentes a la unidad funcional y al objeto analizado
- Descripción de cada operación unitaria
- Listado de las unidades de medida
- Inventario global
- Descripción de las técnicas empleadas para la recogida de los datos y de cálculo.

De igual manera en la figura siguiente se muestra un procedimiento simplificado para el ICV, este proceso nos permite entender de una manera más sencilla los pasos a seguir (Figura 21).



Figura 21. Procedimiento simplificado de ICV

Fuente: (Maza, 2012)

Elaborado por: El Autor

2.4.2.1. Recolección de datos del objeto o sistema analizado

Es de suma importancia realizar una correcta recolección de los datos relacionados al objeto a analizar, de igual manera es importante realizar la validación de los datos en relación a la unidad funcional con la que se trabajara. En el caso del ICV en el sector AEC, el objeto a analizar podría ser un sistema constructivo o una edificación y en estos casos los datos se relacionarían a los elementos constructivos (Zabalza, 2013).

Para tener datos de alta fiabilidad es necesario establecer el origen de esos datos, esto se lo realiza mediante bibliografía, planimetrías, especificaciones constructivas, fichas técnicas, medidas in situ, normativas, estándares, etc. En estudios recientes se plantea el uso de softwares BIM (Building Information Modeling) para el desarrollo del ACV en especial para el levantamiento de los datos antes mencionados; los softwares de modelado de información de construcción o BIM permiten trabajar con modelos 3D los cuales cuentan con toda la información constructiva necesaria, estos softwares nos permiten sacar datos y cuantías de materiales y elementos constructivos de una manera más precisa y organizada (Soust-Verdaguer 2017).

2.4.2.2. Bases de datos de inventarios de impactos

A lo largo de las últimas décadas diferentes organizaciones enfocadas en el estudio del ACV han desarrollado bases de datos para la realización del ICV. Estas bases contienen datos medioambientales de procesos y materiales de diferentes sectores productivos, como el sector AEC. Por lo general las bases de datos son realizadas bajo estudios, investigaciones y procesos normalizados y valorados, esto da como resultado que los datos ofrecidos sean de gran calidad y fiabilidad.

Los datos que se brindan van en relación a las entradas y salidas de impactos, y se basan en las diferentes categorías de impactos como el potencial de acidificación (kg SO² eq), el potencial de eutrofización (kg N eq), potencial de calentamiento global (kg CO² eq), el consumo energético o energía incorporada (MJ), etc. Antes de seleccionar los datos, es necesario saber que se utiliza la base de datos correcta; existen muchas bases de datos no obstante no todas estas contiene información sobre procesos relacionados al sector AEC. Otros aspectos a considerar para la selección de la base de datos es que cuenten con un enfoque de carácter global, con gran cantidad de procesos y con un historial amplio en su aplicación. En la tabla presentada a continuación se presentan las bases de datos más usadas y más confiables para realizar en ACV en el sector AEC (Tabla 8).

Tabla 8. Bases de datos de inventario de impactos

Base de datos	País	Entidad desarrolladora	Numero de Procesos
Ecoinvent v2.2	Suiza Global	Ecoinvent Centre	4000
ETH-ESU v.2.3	Suiza Global	ESU - Services	2000
ELCD	Europa	Diversas entidades europeas	316
U.S. LCI v.1.6.0	Estados Unidos	National Renewable Energy Laboratory	355
Grean Book Live	Reino Unido	Boustead model 6.0	780
ProBas	Alemania Global	Federal Envaronen Agency	8000
IVAM LCA v.4.06	Holanda	IVAM Environmental Research	1350
Athena database v.4	Canadá Estados Unidos	Athena Institute (Canadá)	1200
Gabi database	Varios	PE International	2300
GEMIS 4.5	Alemania	Öko-Institut	1000

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

De todas las bases de datos existentes la más sobresaliente es la Ecoinvent v2.2, esta base de datos es la más usada a nivel mundial en diferentes países, incluyendo países de Latinoamérica. Esta base de datos también es la más usada para análisis relacionados al sector de ACV, por que cuenta con gran cantidad de sistemas y procesos afines al sector. También es muy usada en los softwares destinados a ACV, tanto en sectores de producción como el sector de la construcción.

2.4.2.3. Asignación de cargas ambientales en relación al producto

Es necesario entender que un producto complejo como una edificación o un sistema constructivo no es resultado de un único proceso, elemento o sistema, por el contrario es resultado de un conjunto de sistemas y productos. Para poder realizar un correcto ACV no se debe presentar los datos globales de entradas y salidas, ni evaluarlos de manera global ya que al hacer esto se presentarían datos y resultados que no permitirían llegar a conclusiones coherentes y a su vez no se podrá hacer un análisis detallado (Llanes, 2006).

Para realizar correctamente un análisis ACV es necesario realizar una asignación o reparto de las cargas ambientales mediante una organización de los componentes que conforman el producto, edificación o sistema analizado. Para esto las normas ISO 14040 e ISO 14044 presenta una serie de pasos a seguir:

- Se debe realizar una correcta y justificada selección de los sistemas a analizar
- Las entradas y salidas deben asignarse a los distintos sistemas que conforman el producto.
- La suma de las cargas ambientales de cada sistema darán como resultado el impacto global.

2.4.2.4. Presentación de ICV

Es de suma importancia que la presentación del inventario de ciclo de vida sea de manera ordenada y detallada. Para la presentación de los datos se recomienda el uso de tablas donde se especifique las características principales de los datos. El uso de tablas permitirá tener la información ordenada y permitirá que el análisis sea mejor desarrollado y comprendido (Soust-Verdaguer, 2017).

2.4.3. Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

En esta etapa se realiza el proceso técnico de análisis de los impactos; los impactos y recursos son calculados y cuantificados en base al ICV ya realizado, también se clasifica y agrupa los impactos en base a sus respectivas categorías o indicadores ya establecidos anteriormente (ISO 14040, 2006). La correcta evaluación de los impactos permitirá realizar una correcta interpretación y clasificación de los mismos, esto también beneficiara a la hora de aplicar los resultados.

Según la norma ISO 14040 la etapa de EICV se divide en algunas fases, algunas de estas fases pueden ser obligatorias u opcionales como muestra el siguiente gráfico (Figura 22).

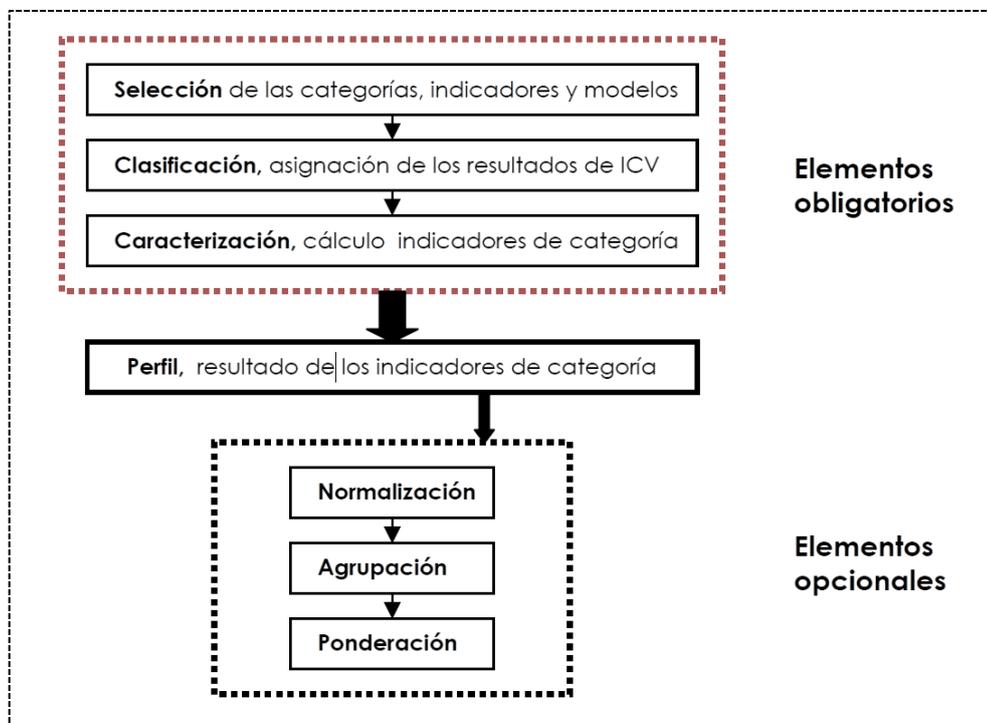


Figura 22. Método básico EICV

Fuente: (ISO 14040, 2006)

Elaborado por: El Autor

En esta etapa se realiza el proceso técnico de análisis de los impactos; los impactos y recursos son calculados y cuantificados en base al ICV ya realizado, también se clasifica y agrupa los impactos en base a sus respectivas categorías o indicadores ya establecidos anteriormente (ISO 14040, 2006). La correcta evaluación de los impactos permitirá realizar una correcta interpretación y clasificación de los mismos.

2.4.3.1. Selección de Categorías de impactos

Es importante definir qué tipos de impactos se quiere obtener en el ACV, ya que la posterior selección de la categoría de impactos nos permitirá saber exactamente que indicador ambiental estamos trabajando y que características este posee a la hora de realizar los análisis. Cabe mencionar que existen categorías de impactos ya propuestos por las normas y estudios ambientales relacionados al ACV, estas categorías hacen referencia a las entradas y salidas más relevantes que tiene un producto o sistema a lo largo de su ciclo de vida. En el siguiente cuadro se muestra las categorías de impactos más relevantes en el ACV en el sector de la producción y el sector AEC (Tabla 9).

Tabla 9. Indicadores de impactos ambientales

Categorías de Impacto	Unidad de medida	Modelo
Potencial de calentamiento global (Global warming potential, GWP)	kg CO ² eq	IPPC (2007)
Potencial de agotamiento de la capa de ozono (Depletion potential of the stratospheric ozone layer, ODP)	kg CFC ¹¹ eq	WMO (1999)
Potencial de acidificación de tierra y agua (Acidification potential, AP)	kg SO ² eq	Huijbregts et al. (2001)
Potencial de eutrofización (Eutrophication potencial, EP)	kg PO ⁴ eq	Guinée et al. (2002)
Potencial de agotamiento de recursos abióticos (Abiotic resource depletion potential, ADP)	kg Sb eq	Guinée et al. (2002)
Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos del ozono troposférico (Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants, POCP)	kg NMVOC eq	Derwent et al. (1998)
Energía Demandada Acumulada Cumulative energy demand (CED)	MJ	Guinée et al. (2002)

Fuente: El autor

Elaborado por: El Autor

Organizaciones ambientales y estudios científicos expresan que las categorías de impactos más relevantes son el potencial de calentamiento global (GWP) y la energía demandada acumulado (CED), relacionadas a las emisiones de CO² y al consumo energético respectivamente. Se entiende que estos son los impactos más perjudiciales al ambiente, y por lo tanto los que principalmente se debe disminuir. El caso de la aplicación de ACV en el sector AEC también se prioriza los impactos GWP y CED en el momento de realizar la evaluación ambiental de una edificación o sistema (Evangelista, Kiperstok, Torres, Gonçalves, 2018).

2.4.3.1. Caracterización o Método de cálculo ACV

La etapa de caracterización es en la cual se realiza los cálculos respectivos de evaluación ambiental del ACV. Esta etapa es la más compleja del análisis, y se debe tener un mayor cuidado a la realización de los cálculos y en la forma de presentarlos. Es de suma importancia que el proceso y los resultados sean entendibles para poder realizar una correcta interpretación. Debido a la complejidad de esta etapa diversas entidades y organizaciones han desarrollado metodologías en análisis basadas en las normativas ISO 14040 y otras del ACV, estas metodologías permiten tener un proceso más sencillo y organizado, las principales metodologías aplicadas a nivel mundial se muestran en la siguiente tabla (Tabla 10).

Tabla 10. Métodos de cálculo de ECV

Nombre	Entidad y País	Objeto de Aplicación
CML 2001	CML (Holanda)	Método de cálculo de impactos intermedios de caracterización simple.
EPS 2000	IVL (Suecia)	Metodología destinada a percances y daños enfocada a un factor económico
Ecoindicador 99	PRé (Holanda)	Modelo de enfoque científico orientado a los daños, utiliza indicadores de categoría de impacto final.
IMPACT 2000+	EPFL (Suiza)	Método orientado a los daños, semejante al Ecoindicador 99, pero más destinado a indicadores de toxicidad.
TRACI 2002	US EPA (Estados Unidos)	Método de impacto intermedio desarrollado por US EPA.
Ecopuntos 97 / 2006	E2, ESU services (Suiza)	Modelo basado en políticas ambientales de Suiza También conocido como método Ecoscarcity.
LUCAS	AIST (Japón)	Método canadiense de impacto intermedio que adapta algunos modelos de caracterización de TRACI 2002 e IMPACT 2002+.

Fuente: Eco diseño (Zabalza, 2013)

Elaborado por: El Autor

Las metodologías más utilizadas a nivel mundial son la CML 2001 y la Ecoindicador 99, esto debido a que son metodologías muy sencillas de aplicar, y que presentan resultados de una manera más comprensible. La metodología CML2001 es la metodología más utilizada en el sector AEC. También a pesar de la existencia de herramientas digitales de ACV, el procedimiento más óptimo es la realización de la evaluación es con el uso de hojas de cálculos las mismas que con tengan la información de ICV (Zabalza, 2013).

2.4.3.2. **Potencial de Calentamiento Global (GWP)**

Las emisiones humanas de gases efecto invernadero como el CO² son causantes del cambio climático y aumento de la temperatura de la tierra (Figura 23). El impacto por emisión gas CO² puede expresarse en término de Potencial de Calentamiento global o Global Warming Potential (GWP). El GWP es medido y expresado en emisiones de kg CO² equivalente, de acuerdo al método de evaluación CML 2002 (Guinée, 2002).

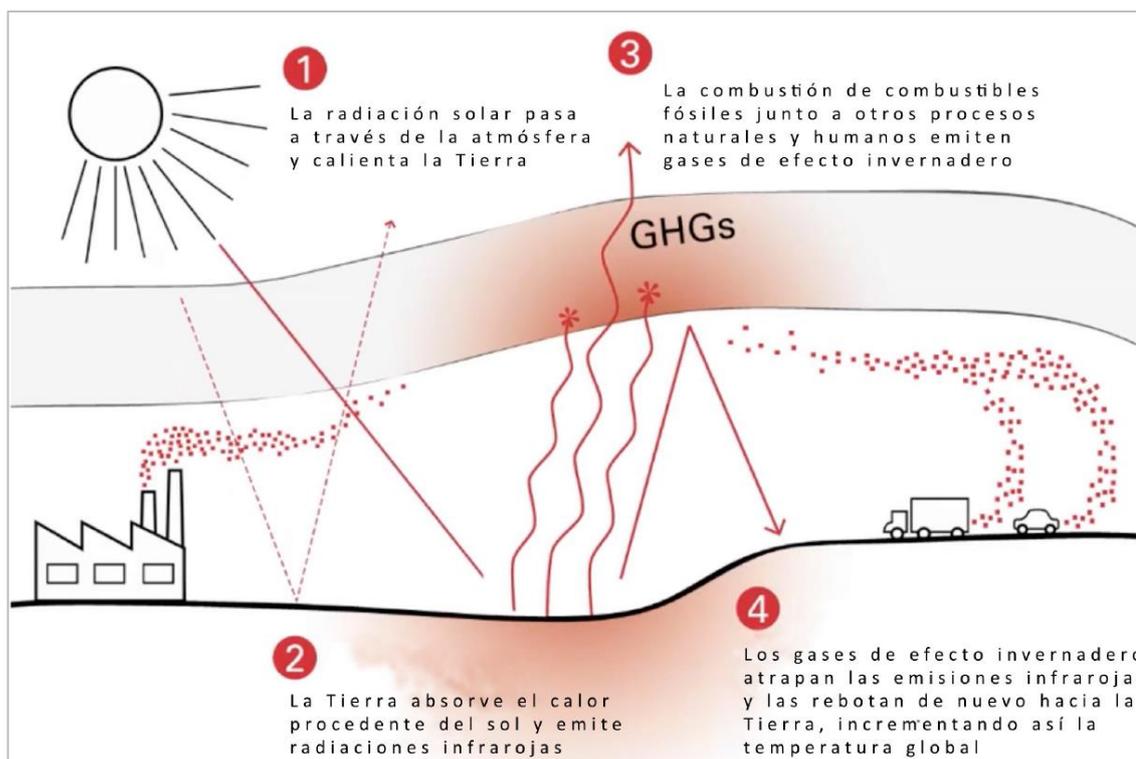


Figura 23. Impacto de Potencial de calentamiento global
Fuente: Simonen, K., 2014
Elaborado por: El Autor

La GWP es la categoría que nos permite evaluar cuál es la contribución de CO² y calentamiento global de cada etapa, material y elemento constructivo que conforman a la edificación. El GWP también nos permitiría saber cuál es el impacto completo de la edificación.

2.4.3.3. **Energía Demandada Acumulada (CED)**

Para el desarrollo de una correcta evaluación ambiental es necesario realizar una cuantificación de la energía usada a lo largo del ciclo de vida del producto, sistema o edificio. El método de Demanda de energía acumulada (Cumulative Energy Demand – CED) ha sido utilizado para calcular la energía y evaluar el impacto que produce el consumo de energía incorporada en el proceso de ciclo de vida del producto o edificio (Hischier., Weidema., Althaus, 2010). Según esta metodología, la evaluación de los impactos

ambientales se basa en la demanda total de energía primaria asociada a las diferentes etapas de ciclo de vida. El consumo energético es considerado un tipo de impacto debido a las fuentes de energía existentes, naturales (renovables) que son las más óptimas o las primarias (no renovables) que son las más perjudiciales (Figura 24).

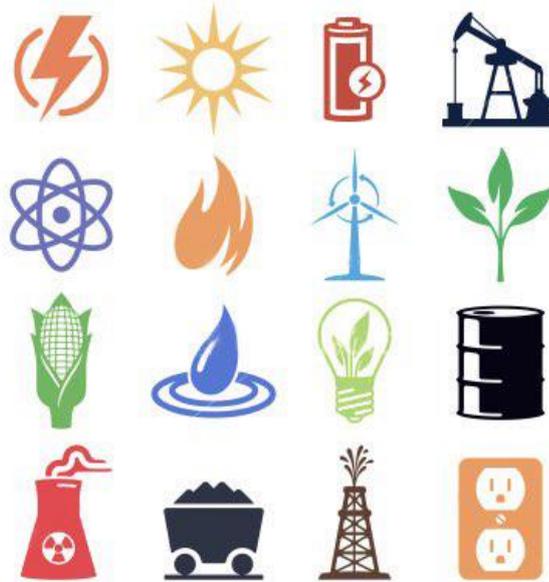


Figura 24. Fuentes de energía primaria
Fuente: Herrería, 2017
Elaborado por: El Autor

El sector AEC consume más del 30% de la energía en a nivel mundial, por esto es necesario buscar la manera de disminuir el consumo energético. Múltiples estudios, organizaciones y softwares de edificación sostenible optan por CED como metodología de cálculo energético en la aplicación del ACV (Zabalza, 2011).

2.4.3.4. CML 2001

El CML es un método caracterización del ACV que fue creado por el Centro de Estudios Medioambientales (CML) de Holanda y el Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden, Países Bajos. CML 2001 es un método de evaluación de impacto que restringe el modelado cuantitativo a las etapas iniciales de la cadena de causa-efecto para limitar las incertidumbres. Esta metodología permite realizar un proceso de caracterización y cálculos del ACV mucho más sencillo y ordenado. Los resultados se agrupan en categorías de punto medio según mecanismos comunes por ejemplo, cambio climático, consumo energético, ecotoxicidad, etc (Guinée, 2002). Este método es uno de los más usados en el sector de la construcción, tanto organizaciones, como estudios científicos y softwares puntúan su uso.

2.4.4. Interpretación de resultados (EICV)

Según establece la norma (ISO 14043) esta fase consisten en una evaluación analítica de los resultados las fases anteriores del ACV, con el fin de llegar a tener conclusiones y recomendaciones que permitan entender las características ambientales del producto, sistema o edificación y también nos permite recomendar procesos que permitan disminuir los impactos negativos generados a lo largo del ciclo de vida del producto, sistema o edificación (criterios). Es de suma importancia saber expresar correctamente las conclusiones y recomendaciones, ya que estas serán usadas en proceso de toma de decisiones, I+D+I, o futuros estudios.

2.5. Herramientas de aplicación de metodología de análisis de Ciclo de Vida

El ACV se lo puede realizar mediante hojas de cálculos y la aplicación metodológica de cada etapa, no obstante múltiples organizaciones han creado herramientas digitales (softwares) para la aplicación del ACV tanto de manera general todos los sectores de producción como de manera puntual el sector AEC. Muchas de estos softwares contienen ya bases de datos de impactos ambientales como también cuentan en su programación las metodologías que se deben aplicar para realizar el ACV (Zabalza, 2013). Estas herramientas han permitido que sea más fácil de acceder al ACV y a su aplicación. Algunas de estas herramientas son gratuitas no obstante la mayoría de estas tienen un costo económico. En la siguiente tabla se presentan las principales herramientas de ACV con un enfoque general (Tabla 11).

Tabla 11. Softwares generales de aplicación de ACV

Programa	Compañía	Característica
Eco-It	Pré Consultants (Países Bajos)	Indicado para análisis de productos de envases. Utiliza la metodología Ecoindicador 99
Gabi	Universidad de Stuttgart (Alemania)	Es uno de los programas más usados, además de permitir realizar el ACV también permite trabajar con flujos económicos. Utiliza la metodología Ecoindicador 99 o CML
SimaPro	Pré Consultants (Países Bajos)	Es uno de los softwares más usados. Permite realizar complejos análisis de ACV, Utiliza la metodología Ecoindicador 99 o CML Adecuada para diseño y I+D.
Umberto	Ifeu-Institut (Alemania)	Indicado para realizar eco balances de empresas Bases de datos completas
Open LCA	GreenDelta (Alemania)	Es un software libre de muy sencilla aplicación Especial para diseño y educación

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

Las herramientas virtuales antes nombradas tienen un enfoque global que permiten hacer análisis en el sector AEC, no obstante en los últimos años organizaciones han desarrollado

softwares especializados en la aplicación de ACV en el sector AEC, puntualmente en el ACV de edificaciones. En la siguiente tabla se muestra principales herramientas ACV para el sector AEC (Tabla 12).

Tabla 12. Softwares de aplicación ACV en el sector AEC.

Programa	Compañía	Característica
Athena (2015)	Athena Sustainable Materials Institute (Canada)	Evalúa los impactos de las edificaciones de todas sus etapas menos la etapa de uso. Orientado a la evaluación de edificaciones en Norteamérica.
BEES (2014)	National OInstitute of Standards and technology (Estados Unidos)	Tiene una versión gratuita online. Dirigida a la construcción de EEUU. Realiza ACV y CCV. Su base de datos no es muy extensa.
ELODIE (2012)	Centre Scientifique et Technique du Batiment (Francia)	Evalúa todas las etapas de ciclo de vida. Permite comparar diferentes diseños de edificaciones. Puede entregar los resultados en formato Excel, siendo el formato recomendado para certificaciones ambientales.
Impact (2009)	BRE Group (Reino Unido)	Se logra integra el ACV, el CCV y el BIM. Permite realizar una evaluación completa del diseño de la edificación y comprara con edificaciones ya construidas. Es una herramienta que depende de otros softwares BIM.
One Click (2016)	Autodesk (Estados Unidos)	Es una herramienta completaría de la herramienta BIM Revit de autodesk, permite realizar una análisis ACV y CCV del diseño de la edificación, o de edificaciones ya construidas. Esta herramienta trabaja conjuntamente con otras herramientas para desarrollar un análisis completo.
Tally (2008)	KT Innovations y Autodesk (Estados Unidos)	Es una herramienta que se integra al modelado BIM Revit, permite realizar un análisis ACV en el momento de modelar. Presenta los resultados de manera dinámica acuerdo a los cambios del diseño.

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

Todas estas herramientas han sido diseñadas de para ofrecer al mercado una manera más sencilla de realizar el ACV en el sector ACV, no obstante muchas de ellas aún se encuentran en desarrollo y cuentan con limitantes espaciales como económicos. Todas las herramientas utilizan las metodologías originales de ACV, lo que buscan es facilitar su aplicación.

2.6. Estado de conocimiento de aplicación ACV en el sector AEC

En las últimas décadas se han realizados múltiples estudios de aplicación de la metodología ACV en el sector AEC. Los estudios se han enfocado en realizar una evaluación ambiental de materiales de construcción, elementos constructivos, sistemas constructivos, edificaciones, infraestructura, proyectos urbanos, etc (Zabalza, 2013).

El desarrollo del ACV en el sector AEC está en continuo avance, por ejemplo en países europeos se han desarrollado múltiples normas del ACV y también en algunos de estos países la aplicación del ACV ya es obligatoria en cuanto a proyectos públicos y privados. Las herramientas de diseño digital también se están esforzando en crear softwares que faciliten la aplicación del ACV a lo largo del proceso de diseño, usando herramientas BIM como base. Por otra parte los profesionales de la construcción también se sienten atraídos por el ACV y su aplicación para el diseño de arquitectura técnicamente más sostenible, no obstante la complejidad metodológica del ACV en ocasiones impide que los profesionales la apliquen (Soust-Verdaguer; García, 2017).

Varios investigadores hablan sobre la necesidad de simplificar la metodología ACV para aplicarla en análisis de objetos complejos como edificaciones (Basbagill, 2013; Kashkooli, 2013; Soust-Verdaguer; García, 2017; Zabalza et al, 2009). Estas simplificaciones se enfocarían en facilitar la aplicación del ACV sin perder el enfoque principal de la metodología. En muchas investigaciones ya se han aplicado metodologías simplificadas para análisis de edificaciones, estas metodologías se caracterizan por definir un objetivo de aplicación puntual del ACV y seleccionar los principales y más importantes límites, etapas, elementos de análisis e indicadores ambientales; estas metodologías también se caracterizan por el uso de métodos de EICV y bases de datos para el ICV.

2.6.1. Aplicación del ACV edificaciones tipo vivienda

A nivel mundial se han realizados múltiples análisis de ciclo de vida de edificaciones tipo vivienda, y también múltiples estudios de aplicación del ACV en viviendas. A continuación se presentara los principales estudios analizados para el desarrollo metodológico del trabajo de investigación, estos estudios fueron seleccionados mediante una investigación previa. En la siguiente tabla se muestran los estudios analizados y sus características generales (Tabla 13).

Tabla 13 Estudios de Aplicación del ACV en edificaciones tipo vivienda. Casos analizados

Estudios de ACV en edificaciones tipo residencial			
Autores	Año	País	Objeto
Babaizadeh et al.,	2015	EEUU	Viviendas unifamiliares “típicas”
Basbagill et al	2013	EEUU	Edificio hipotético y sistemas
Conejero, García- Martínez	2017	EEUU	La casa Wichita
Cuéllar-Franca & Azapagic	2012	Reino Unido	Tres viviendas unifamiliares “típicas”
Dahlstrom et al.,	2012	Noruega	Una vivienda convencional y una Passihauss
Evangelista et al.	2018	Brasil	Dos Viviendas colectivas y dos unifamiliares
Fouquet et al	2015	Francia	Tres viviendas unifamiliares (Passivhaus)
Hanandeh,	2015	Jordania	Seis viviendas unifamiliares
Hernández y Sánchez	2013	España	Edificio Hipotético
Houlihan Wiberg et al.	2014	Noruega	Vivienda unifamiliar “típica”
Iddon and Firth,	2013	Reino Unido	Vivienda unifamiliar
Islam et al.	2014	Australia	Vivienda unifamiliar “típica”
Lewandowska et al	2013	Polonia	Cuatro viviendas unifamiliares (Passivhaus)
Martins y Pagès	2011	Brasil	Tres modelos de vivienda social
Molinero y García-Martínez	2017	Colombia	Tres Viviendas tradicionales de Colombia
Monteiro y Freire	2012	Portugal	Vivienda unifamiliar
Mosteiro-Romero et al.,	2014	EEUU / Suiza	Dos viviendas unifamiliares
Motuzienė et al.	2016	Lithuania	Vivienda unifamiliar eficiente
Ormaza y García-Martínez	2017	Ecuador	Tres viviendas unifamiliares
Ortiz et al	2010	Colombia y España	Dos viviendas, una de España y otra de Colombia
Oyarzo & Peuportier	2014	Chile	Vivienda unifamiliar
Peuportier et al.,	2013	Francia	Vivienda unifamiliar (Passivhaus)
Proietti et al.	2013	Italia	Vivienda unifamiliar
Reyes y García-Martínez	2017	R. Dominicana	Vivienda unifamiliar moderna Casa Nader
Rosselló-Batlle et al	2015	España	Vivienda unifamiliar
Rossi et al	2012	Bélgica y Suecia	Tres viviendas unifamiliares
Soust-Verdaguer y García-Martínez	2017	Uruguay	Tres tipologías de vivienda de interés social
Viola	2012	Suiza	Edificación Hipotética
Wallhagen et al.	2011	Suecia	Edificio de Oficinas
Zabalza et al	2009	España	Edificación Hipotética

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

De igual manera se analiza más al fondo todos los estudios, se busca las características principales de cada estudio. Se identifica cuales fueron cuales fueron las etapas, sistemas más, elementos constructivos e indicadores ambientales analizados; de igual manera se identifican la metodología, bases de datos y softwares empleados para el análisis de ciclo de vida. Se llega a dividir en dos grupos los estudios, esta división se basa en el número de indicadores ambientales evaluados aparte del GWP y CED.

En la siguiente tabla se muestra los estudios más amplios en relación a evaluación de indicadores de impactos (Tabla 14).

Título 14. Estudios de Aplicación del ACV en edificaciones tipo vivienda, análisis amplios.

Estudios de ACV en edificaciones tipo residencial						
Estudio	Etapas CV	Elementos de análisis	Indicadores	Metodología	Bases de datos	Softwares
Babaizadeh et al	C1,C3, C4 A4, D1, B6			BEES	Ecoinvent	BEES
Cuéllar-Franca & Azapagic	A1-A5 B2, B4,B6 y B7 C1-C4 y D1			CML 2001	Ecoinvent	Gabi
Dahlstrøm et al	A1-A5, B2, B6, B7, C1 C3			ReCIPE	Ecoinvent	Simapro
Evangelista et al	A1-A5, B2, B6, B7			CML 2001	Ecoinvent	Simapro
Hanandeh,	A1-A5, B2, B6, B7 C4	Principales: Cimentación Estructura Envoltentes Particiones	Principales: GWP (Co2) CED (MJ)	ReCIPE	ELCD	Excel (hoja de cálculo)
Lewandowska et al	A2-A5, B1, B2, B3, B4, B6, B7, C1, C2 y C4	Otros: Carpintería Acabados Cubierta Particiones Servicios	Otros: Acidificación Residuos Recursos Eutrofización Ecotoxicidad Otros.	Impact 2002	Ecoinvent	Excel (hoja de cálculo)
Monteiro y Freire	A1-A5, B2, B4, B6			CML Ecoindicator'	Ecoinvent	Simapro
Ortiz et al	A1-A5, B1- B6 C1-C3			CML 2001	Ecoinvet	Gabi
Oyarzo & Peupartier	A3-A5, B1- B4, B6, B7, C1-C3			CML 2001	Ecoinvent	Nova Equer
Peupartier et al	A1-A5, B2, B6, B7, C1, C2, C4			—	Ecoinvent	EQUER
Proietti et al	A1-A5, B6, B7, C1-C4, D1			Eco-indicator	Ecoinvent	Simapro Excel (hoja de cálculo)
Soust-Verdaguer, García-Martínez	A1-A5 C1-C4			CML 2001	Ecoinvent	Excel (hoja de cálculo)
Viola	A3-A5 B1, B6, B7 C1			ReCipe CML	Econvient	Simapro

Fuente: El Autor
Elaborado por: El Autor

La mayoría de los estudios analizados tienen como principales indicadores ambientales el GWP y CED, en mucho de los estudios reafirman que estos indicadores son los de mayor consideración a la hora de hacer un análisis ambiental. De igual manera más de la mitad de los estudios analizados se enfocan únicamente en los indicadores GWP y CED; a continuación se presenta estos estudios más detalladamente en la siguiente tabla (Tabla15).

Título 15. Estudios de Aplicación del ACV en edificaciones tipo vivienda, análisis simplificados.

Estudios de ACV en edificaciones tipo residencial						
Estudio	Etapas CV	Elementos de análisis	Indicadores	Metodología	Bases de datos	Softwares
Basbagill et al	A1-A3 B1-B3		GWP Residuos	–	Athena Ecoindicator	SimaPro
Conejero, García-Martínez	A1-A5 C1-C4		GWP CED	CML 2001	Ecoinvent v2	Excel (hoja de cálculo)
Fouquet et al	A1-A5 B5-B6 C1-C4		GWP	–	Ecoinvent	Simapro
Hernández y Sánchez	A1-A4, B6 C1-C2			CML 2001	Ecoinvent	Simapro
Houlihan Wiberg et al.	A1, A2, A3 B4 B6			–	Ecoinvent	Simapro
Iddon and Firth,	A1, A2, A3 B6		GWP (CO2) CED (MJ)	–	ICE database	Vico y Excel (hoja de cálculo)
Islam et al.	A1-A5 B2 B4 B6 C1 C2	<u>Principales:</u> Cimentación Estructura		Australian Impact and CED	Ecoinvent	BBQ
Martins y Pagès	A1- A3, A5 B1 B6	Envoltantes Particiones	GWP Demanda energética	–	ITEC Ecoinvent	Excel (hoja de cálculo)
Molinero y García-Martínez	A1-A5 C1-C4	<u>Otros:</u> Carpintería	GWP CED	CML 2001	Ecoinvent	Excel (hoja de cálculo)
Mosteiro-Romero et al.,	A1-A5 B2, B4, B6 C1-C4, D1	Acabados Cubierta Particiones	GWP	Impact	Ecoinvent	Simapro
Motuziené et al.	A1-A5, B2, B4, B6 B7, C1-C4	Servicios		AHP	Ecoinvent	Simapro
Ormaza y García-Martínez	A1-A5 C1-C4			CML 2001	Ecoinvent	Excel (hoja de cálculo)
Reyes y García-Martínez	A1-A5 C1-C4			CML 2001	Ecoinvent	Excel (hoja de cálculo)
Rosselló-Batle et al	A1-A4, B6			–	BEDEC	BEDEC
Rossi et al	A1-A4 B6- B7		GWP (CO2) CED (MJ)	–	Ecoinvent	Equer
Wallhagen et al.	A3, B1, B6, B7, C1			CML 2001	Ecoinvent EcoEffect	Excel (hoja de cálculo)
Zabalza et al	A3 B1, B6			CML Eco-Indicador	Bedec Ecoinvent	Excel (hoja de calculo)

Fuente: El Autor

Autor: El Autor

El análisis de estos estudios nos permitirá desarrollar una correcta metodología ACV para aplicar en el trabajo investigativo. Es necesario entender los métodos aplicados en el ACV en estos estos referentes.

2.6.2. Conclusiones del análisis de los estudios referentes

El análisis de los estudios referentes nos ha permitido llegar a diversas conclusiones, estas son:

- Las edificaciones son objetos complejos porque son la suma de diferentes elementos y sistemas constructivos, por esto es conveniente establecer una metodología simplificada de ACV a la hora de analizar ambientalmente una edificación.
- Para realizar un ACV correcto es importante definir un objetivo específico. Si se plantea que resultados se espera obtener se puede simplificar el ACV en relación al objetivo planteado.
- Los indicadores ambientales más relevantes en cuanto a impacto ambiental son el GWP y CED, estos mismos indicadores son los que se plantea calcular en el desarrollo del trabajo de investigación.
- Es necesario definir los límites del análisis en cuanto a etapas de ciclo de vida. No es necesario analizar todas las etapas, esto será definido en relación al objetivo planteado.
- Hay que definir correctamente los elementos y sistemas constructivos que se analizará, también es importante realizar el ICV lo más organizado posible, para poder tener la información ambiental puntual de cada sistema constructivo.
- El uso de una eficiente base de datos es importante y de gran ayuda. La base de datos Ecoinvent es la más utilizada y más respetada a nivel mundial, esto debido a su aplicación en contextos globales.
- El uso de una herramienta digital para la realización de ACV no es necesaria, se puede realizar el análisis en una hoja de cálculo.

2.7. Metodología ACV propuesta para el trabajo de investigación

Partiendo de la información, bibliografía y estudios analizados se presenta a una metodología general de aplicación del ACV en el sector AEC. La metodología general presenta todos los pasos a seguir para desarrollar una evaluación ambiental de cualquier edificación usando el ACV. Al ser el ACV un proceso complejo se decide sintetizar y resumir la metodología general en el siguiente diagrama (Figura 25).

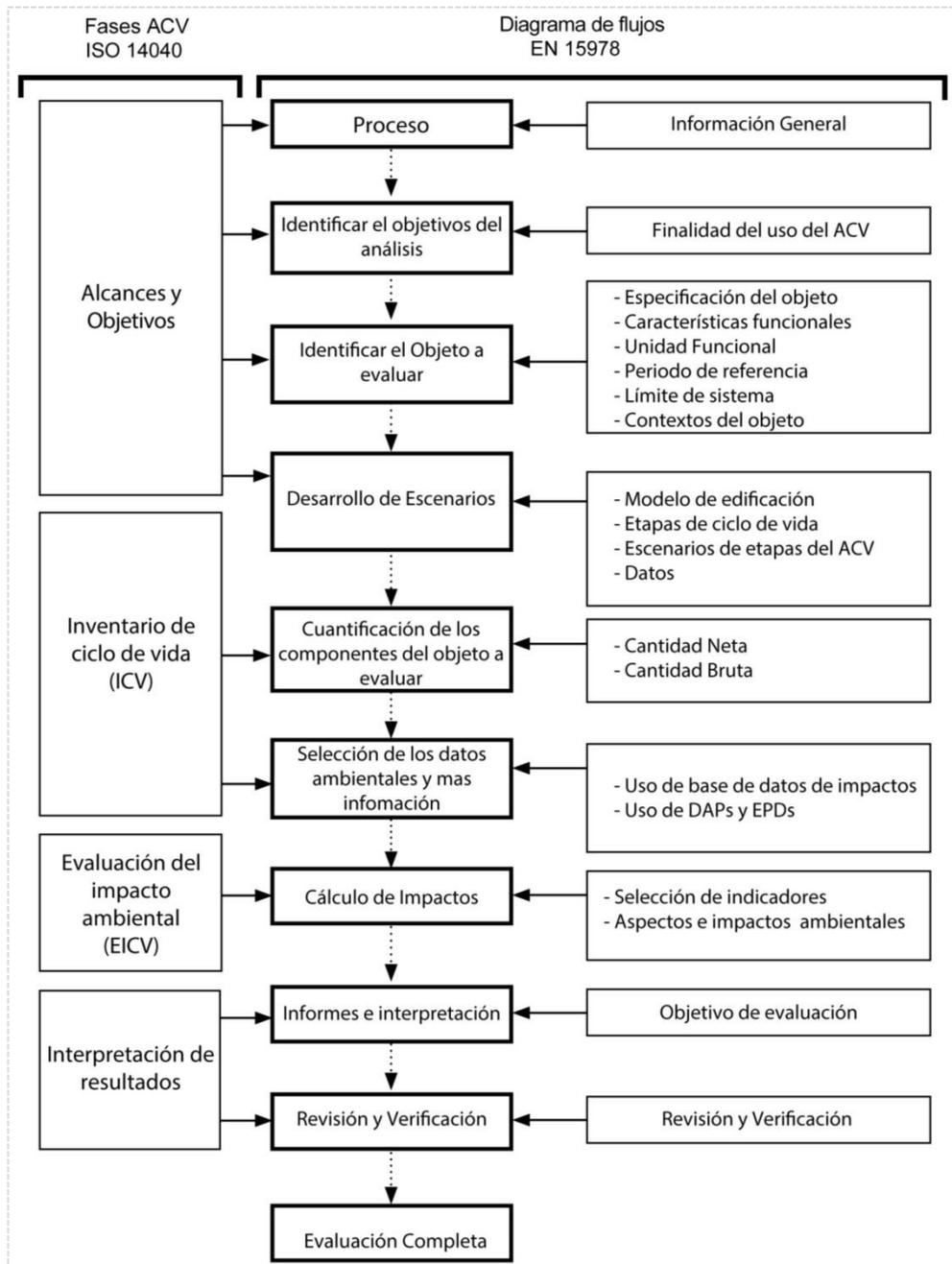


Figura 25. Metodología general ACV desarrollado

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

La metodología general presentada junto al análisis de los estudios referentes (García, 2010; Soust-Verdaguer, 2017) nos permitirá también proponer una metodología puntual para el desarrollo del trabajo de investigación.

2.7.1. Metodología ACV propuesta para el análisis de la vivienda tipo Ciudad Alegría y los sistemas constructivos

El trabajo de investigación va destinado a la aplicación del ACV en “La vivienda tipo Ciudad Alegría” y en los principales sistemas constructivos de estructura y envolvente de la ciudad de Loja. En este caso la finalidad de la aplicación de ACV es realizar una evaluación ambiental de la vivienda y de los sistemas constructivos para poder calcular los impactos generados en cuanto a emisiones de CO₂ y consumo energético.

Para poder realizar esta evaluación ambiental mediante ACV es necesario primero plantear una metodología coherente que nos permita alcanzar los objetivos del trabajo de investigación. Para poder plantear esta metodología sintetizada y puntual de ACV es necesario primero entender la metodología completa de ACV y analizar los estudios referentes semejantes.

Finalmente después de realizar todos los análisis se llegó a un proceso metodológico puntual de ACV que permita realizar la evaluación ambiental de la vivienda tipo y de los sistemas constructivos escogidos. La metodología sintetiza el procedimiento en 5 etapas o pasos generales:

- Caracterización de la edificación o sistema constructivo
- Objetivos y definición de límites y alcance
- Inventario de ciclo de Vida (ICV)
- Evaluación del Impacto ambiental o evaluación de inventario de ciclo de vida (EICV)
- Interpretación y presentación de resultados

Cada una de estas etapas está formada por procesos que se deben realizar para que se desarrolle la evaluación correctamente. Cada uno de los procesos a realizar cuenta con especificaciones puntuales; estas especificaciones fueron propuestas precisamente para el desarrollo de la evaluación ambiental en el trabajo de investigación y se basaron en los estudios referentes y bibliografía analizada. A continuación se presenta un esquema donde se muestra la metodología puntual de ACV que se usara (Figura 26).

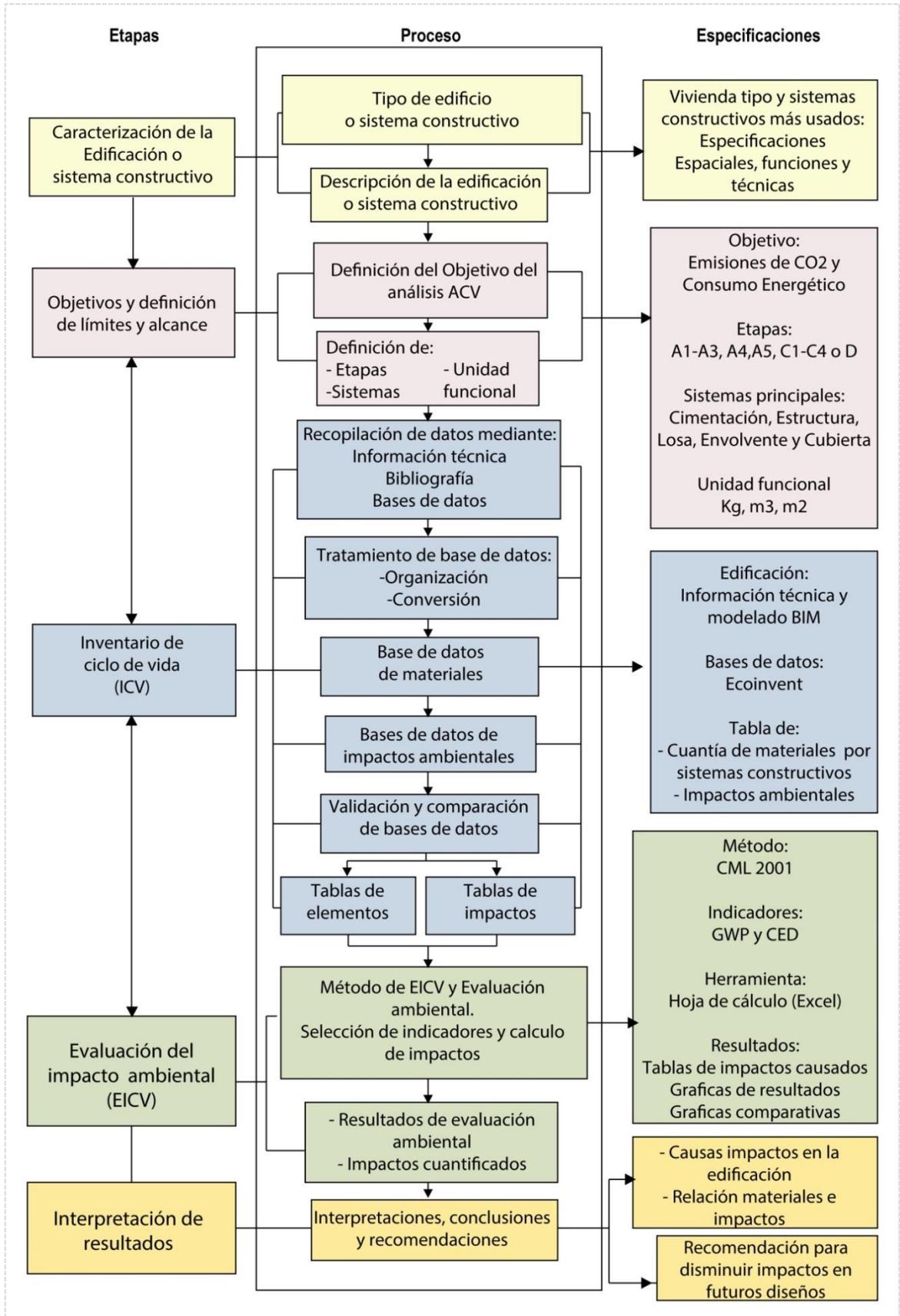


Figura 26. Metodología ACV desarrollada para el trabajo de investigación

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

2.7.1.1. Caracterización de la edificación o sistema constructivo

En esta primera etapa se identifica que edificación o sistema constructivo se analizara. Es necesario contar con la información bibliográfica, contextual y técnica de objeto a analizar. La información técnica se la puede obtener mediante planos, bibliografía, o medición de campo (García Martínez, 2010). En esta etapa también se puede realizar el redibujo de la edificación en una herramienta de modelado BIM, esto facilitará la toma de datos de materiales.

2.7.1.2. Objetivos y definición de límites y alcance

En esta etapa se define el objetivo y los límites del ACV, con la finalidad de realizar un proceso metodológico correcto.

El objetivo es realizar una evaluación ambiental de la vivienda y de los sistemas constructivos, calculando los indicadores ambientales más relevantes como son las emisiones de CO2 y el consumo energético. Con este análisis se busca poder llegar a conclusiones que permitan la toma de decisiones de materiales y sistemas constructivos para el diseño de futuro proyectos de vivienda. También se considerara algunos límites del sistema en relación a las etapas de ciclo de vida, los componentes o sistemas analizados, y la unidad funcional.

Las etapas de ciclo de vida que se analizarán son las A1-A3, A4, A5, C1, C2, C3, C4, D; estas etapas solo consideran la cualidad de materialidad de la vivienda o sistema analizado. No se considera las etapas de Uso "B" esto debido a que la investigación va enfocada en los materiales y sistemas constructivos elegidos para el desarrollo de la vivienda (Figura 27).

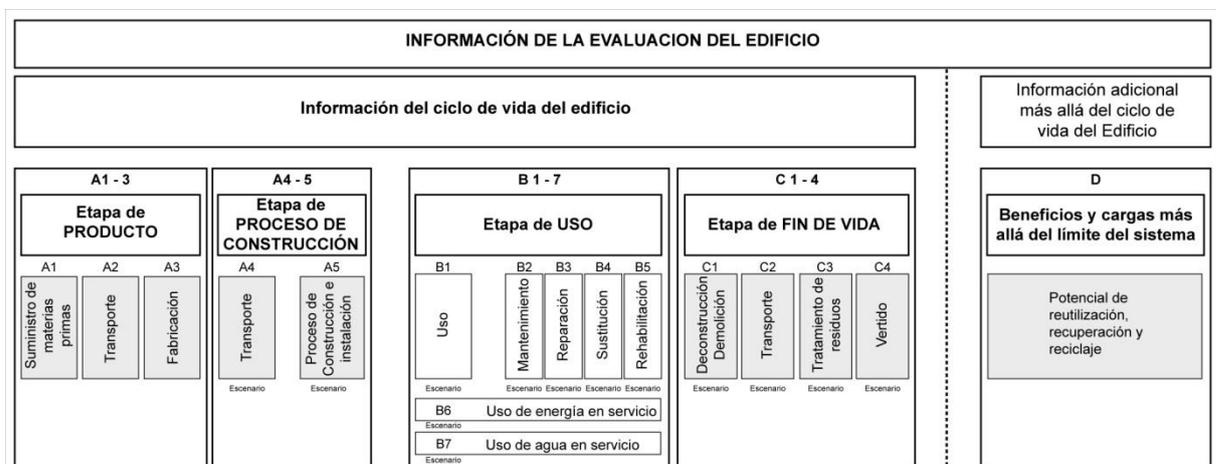


Figura 27. Etapas de ciclo de vida ha analizaran

Fuente: (Norma ISO 15686 (ISO, 2017)

Elaborado por: El Autor

Las etapas de ciclo de vida seleccionadas se las organizara en fases relacionadas a los procesos que engloban. Las fases serán las siguientes:

- Producción (A1-A3):
Procesos de producción de cada de los productos de la construcción.
- Transporte al lugar de obra (A4):
Incluyen los transportes desde la fábrica o lugar de producción de los principales materiales al lugar de la obra.
- Construcción y deconstrucción (A5 y C1):
Los procesos necesarios para la construcción o montaje de la edificación o sistema constructivo. También los procesos de derribo o deconstrucción de la edifican.
- Transporte II (C2):
Transporte de los materiales y elementos de la deconstrucción a planta de disposición final.
- De-producción (C3-C4 o D):
Procesos para de-producción de los materiales y elementos procedentes de la deconstrucción.

Todas estas fases se detallaran más en el proceso de realización del ACV de la vivienda y los sistemas.

En el caso del ACV de la vivienda se limitara los sistemas y elementos constructivos que se analizaran. El ACV se enfocara en los principales sistemas, los cuales destacan por su volumen e importancia en la construcción, como lo son la cimentación, la estructura, losas, cubierta, envolventes y particiones internas (Goncalves, 2016). Se desacertara el análisis de acabados, carpinterías, instalaciones etc. En el caso de la unidad funcional se podrá usar el kg, m², m³ o unidad de elemento (u). Esto dependerá del sistema constructivo analizado, y el método de cálculo. En el siguiente esquema se muestra la metodología del desarrollo de la limitación del sistema (Figura 28).

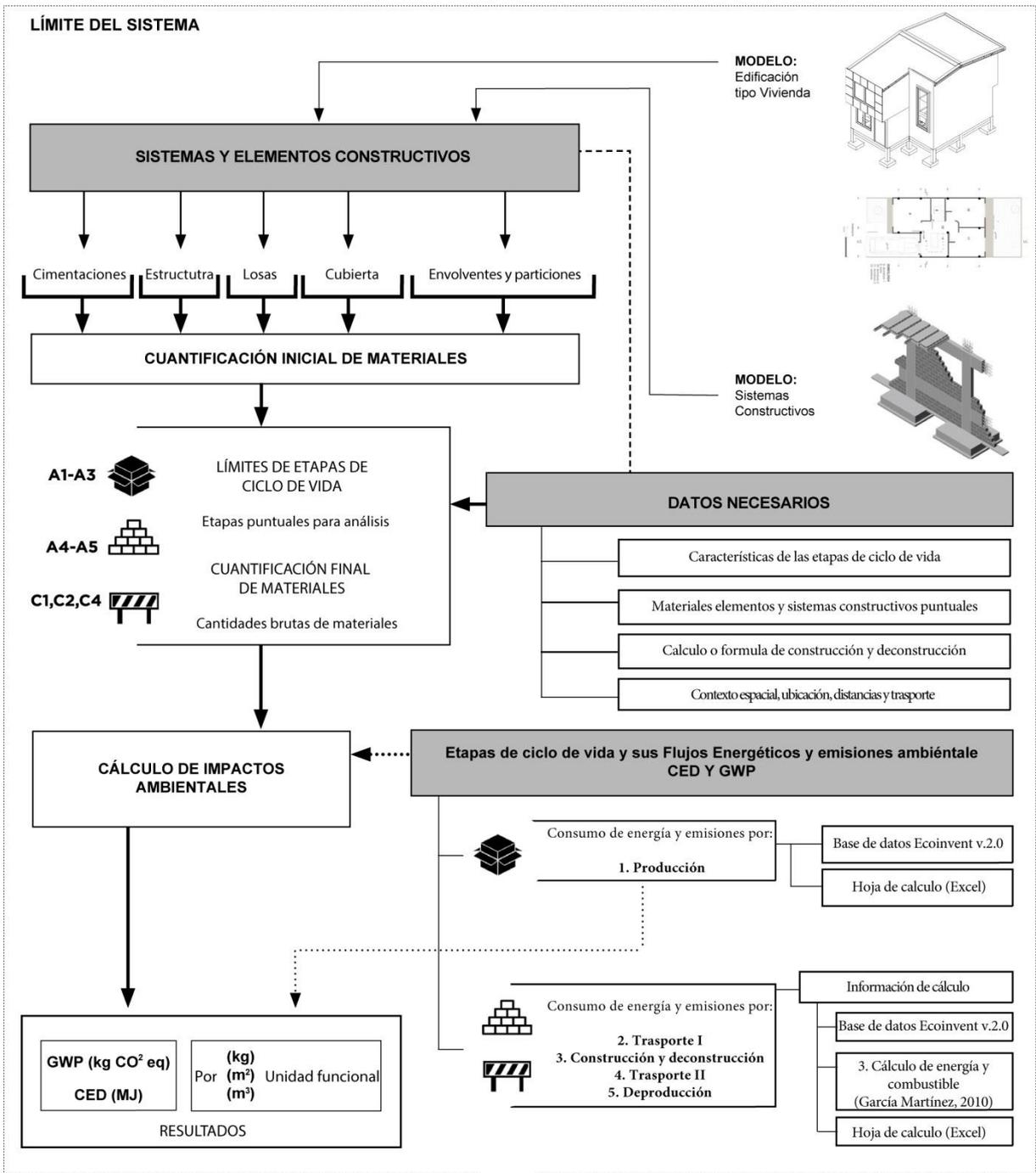


Figura 28. Ficha metodológica de desarrollo de límites de sistema para ACV

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

2.7.1.3. *Inventario de ciclo de Vida (ICV)*

En esta etapa se plantea se recopila los datos necesarios para la realización de la evaluación. Se realiza dos tablas de datos, una tabla cuantía de materiales de construcción y otra tabla de impactos ambientales de procesos del sector de la construcción.

Para la tabla de datos de cuantía de materiales se utiliza la información técnica de la vivienda, y se extrae la información necesaria de cada material y se los organiza en relación a los sistemas constructivos. Para la tabla de impactos se usa la Base de datos Ecoinvent; de esta base de datos se extra y calcula los impactos necesarios para la evaluación. Los impactos requeridos. La herramienta de organización usada serán hojas de cálculo del software Excel.

2.7.1.4. *Evaluación del Impacto ambiental o evaluación de inventario de ciclo de vida (EICV)*

En esta etapa se realiza la evaluación y cálculo de impactos como las emisiones de CO² y el consumo energético. El método de evaluación seleccionado es el CML 2001 y los indicadores ambientales son el GWP y CED, los cuales miden kg de CO² eq, y MJ. La herramienta para que se utilizara es Excel; la evaluación se realizará orden de etapas de ciclo de vida, y se agruparan usando tanto las etapas de ciclo de vida como los sistemas constructivos analizados. Los análisis y resultados se desarrollaran en tablas y gráficas que permitan un mejor entendimiento. En el caso del ACV de los sistemas constructivos también se realiza análisis comparativos.

2.7.1.5. *Presentación e Interpretación de resultados*

En esta última etapa se procede a concluir con el ACV; mediante tablas y graficas se presentan los resultados finales del ACV de la vivienda y de los sistemas constructivos. De igual manera se interpreta los resultados llegando a dar conclusiones y recomendaciones sobre los análisis concluidos.

En la siguiente figura se procede a mostrar todo el proceso metodológico que se aplicará para el desarrollo de estas tres últimas etapas (Figura 29)

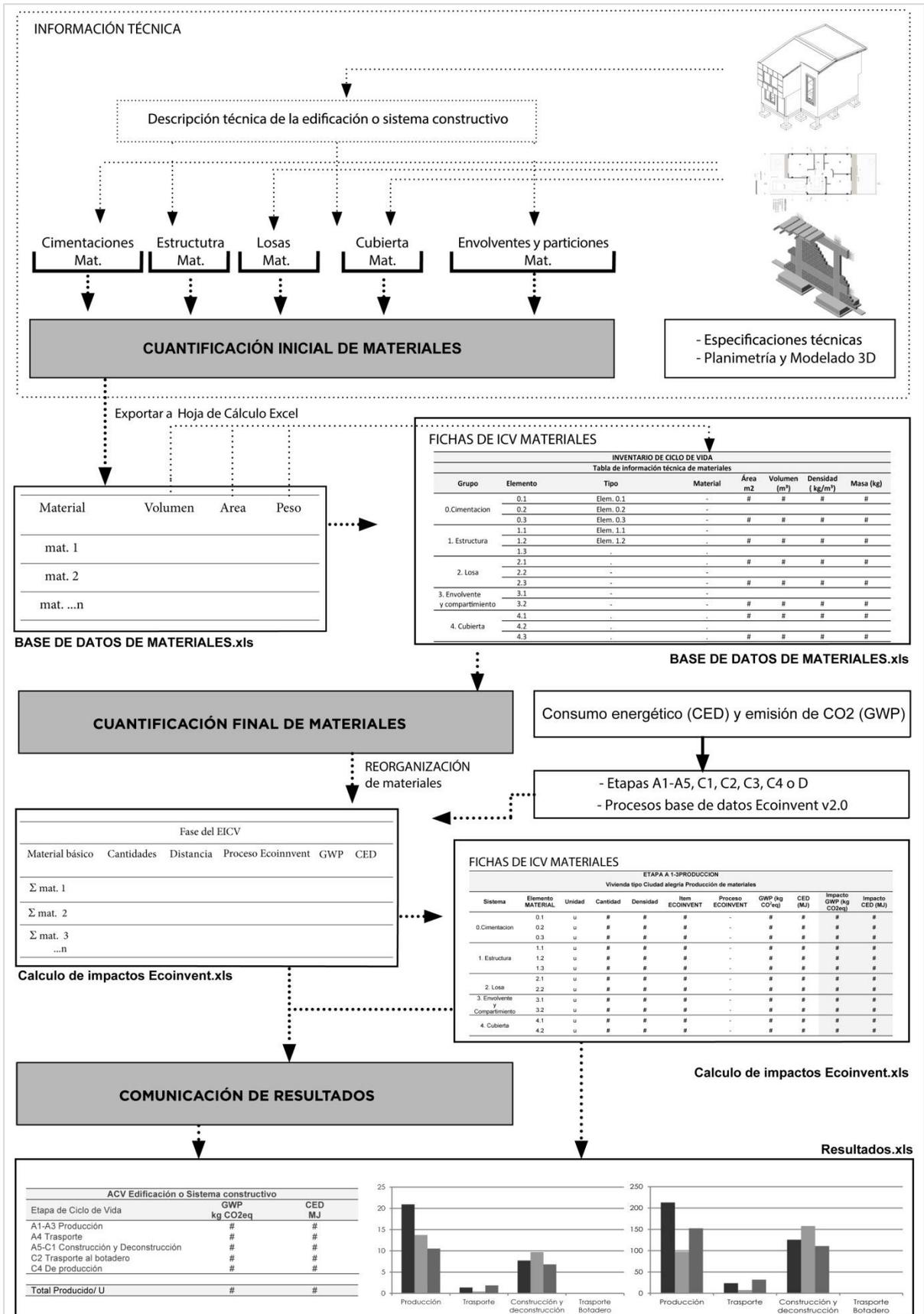


Figura 29. Ficha metodología de EICV para ACV

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

CAPÍTULO III
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA VIVIENDA TIPO CIUDAD ALEGRÍA

3.1. Introducción

En este capítulo se procederá a realizar el ACV de la vivienda tipo Ciudad Alegría. Se utilizará la metodología antes desarrollada para la aplicación ACV, y nos basaremos en los estudios previos. Partiendo de la metodología desarrolla se plantea realizar el procedimiento de ACV, y cumplir cada una de las etapas, procesos y especificaciones planteadas.

3.2. Especificaciones generales de metodología

Se usa la método CLM 2002 ACV, y se basa el procedimiento en las normas ISO 14040/43 y UNE-EN 15978-2012. La unidad funcional será el kg y el m² relacionados a la construcción. Primeramente se realiza un cálculo de los materiales relacionados a cada sistema, posterior a esto se realiza el inventario de ciclo de vida. Los indicadores de impactos serán los antes mencionados como los principales que son:

- Global Warming Potential (GWP) medido en KgCO₂eq
- Cumulative Energy Demand o Demanda de Energía medido en MJ

La base de datos que se usara para el desarrollo de todo el análisis es la Ecoinvent 2.2, la cual es la más recomendada. Todos los cálculos se los realizará en hojas de cálculo de Excel, y los resultados se los expresara mediante tablas y gráficas. Las etapas a analizar del ciclo de vida son:

- Producción (A1-A3)
- Transporte al lugar de obra (A4)
- Construcción y deconstrucción (A5 y C1)
- Transporte al botadero (C2)
- De-producción (C3-C4 o D)

Finalmente se realizará análisis comparativo de los sistemas, y con esto se llegara a resultados que permitirán el proceso de interpretación de ACV

3.3. Caracterización de la edificación

La edificación a analizar es la Vivienda Tipo Ciudad Alegría, la misma forma de un proyecto habitacional de vivienda social en masa de la ciudad de Loja-Ecuador.

3.3.1. Introducción al Proyecto Ciudad Alegría

El proyecto habitacional “Ciudad Alegría” está ubicado al sur de la ciudad de Loja - Ecuador, en el sector “Colinas de la Argelia”, parroquia San Sebastián (Figura 30).

Coordenadas: 4° 1' 55" S 79° 12' 24" E

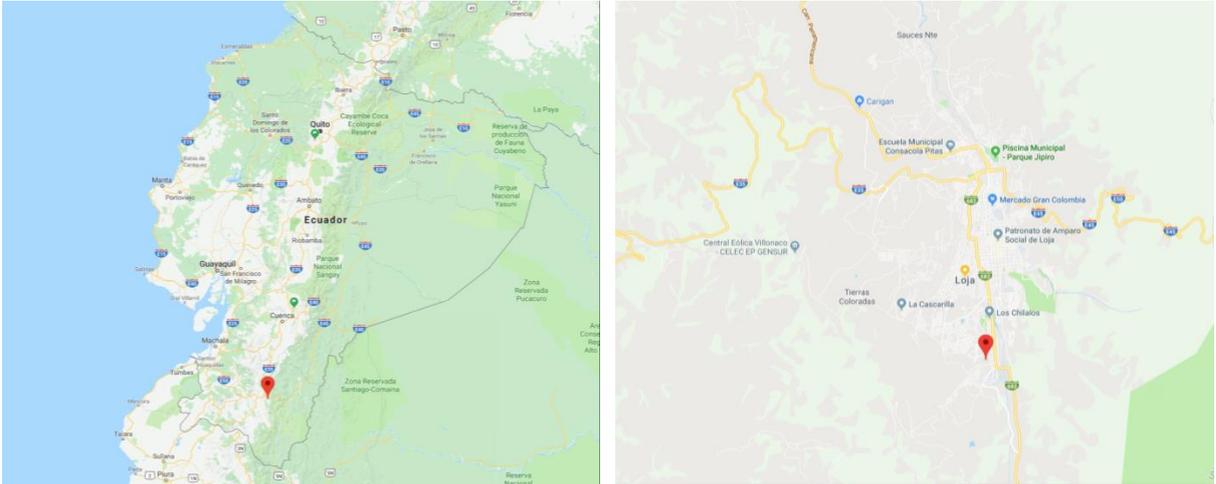


Figura 30. Ubicación del proyecto habitacional Ciudad Alegría

Fuente: Google Earth , 2018

Elaborado por: El Autor

El proyecto Ciudad Alegría fue planificado en 2009 por el VIVEM, y cuenta con 617 viviendas unifamiliares de 92m² y 352 departamentos de 63m² comprendidos edificios de 4 plantas (VIVEM, 2018). Ciudad Alegría es el proyecto habitacional más grande realizado por la empresa VIVEM (Figura 31).



Figura 31. Proyecto habitacional Ciudad Alegría y su huella urbana

Fuente: Rivera, 2015

Elaborado por: El Autor

Ciudad Alegría es uno de los proyectos habitacionales más importantes realizados en las últimas décadas, no obstante es un proyecto que presenta y presenta múltiples

inconvenientes relacionado a impactos sociales y económicos, esto nos lleva a pensar que también tendría inconvenientes en el aspecto ambiental (Rivera, 2015).



Figura 32. Fotografía aérea del proyecto habitacional Ciudad Alegría

Fuente: Rivera, 2015

Elaborado por: El Autor

El proyecto completo tiene un área ocupada de 151.485m^2 de superficie de terreno, área total en la cual se consideran las áreas de terrenos de construcción, los bloques, las áreas verdes y las vías; de igual manera el número de viviendas unifamiliares construidas en Ciudad Alegría es considerable y notorio, son 617 viviendas de 92m^2 equivalentes a 56.764m^2 de construcción, esto nos lleva a considerar que este proyecto puede ser uno de los grandes causantes de impactos ambientales relacionados al sector de la construcción en la ciudad de Loja (Figura 32).

3.3.2. Vivienda Tipo Ciudad Alegría

Las viviendas construidas en Ciudad Alegría son consideradas de carácter social que buscan satisfacer la demanda de viviendas de bajo costo. Al ser viviendas de carácter social cuentan con características puntuales relacionadas a su costo, su diseño espacial, diseño funcional, y claramente su diseño constructivo y materialidad (Figura 33).



Figura 33. Viviendas tipo del proyecto Ciudad Alegría
 Fuente: Rivera, 2015
 Elaborado por: El Autor

La vivienda se encuentra sobre un terreno de 90m² y está conformada por dos plantas en las cuales se distribuyen los diferentes espacios funcionales (Tabla 16); a continuación se describe las características espaciales de la vivienda en la siguiente tabla:

Tabla 16: Análisis espacial de la vivienda tipo ciudad alegría

Vivienda Ciudad Alegría (92m ²)			
Planta Baja (44.5m ²)		Planta Alta (47.5m ²)	
Espacio	Área (m ²)	Espacio	Área (m ²)
Sala	6.53	Dormitorio 1	9.60
Comedor	6.46	Dormitorio 2	9.76
Cocina	5.63	Dormitorio 3	9.3
Estudio	7.07	Baño	2.86
Baño	1.49	Distribuidor	4.93
Escaleras	4.45		
Distribuidor	8.85		
Superficie Útil	40.27 m ²	Superficie Útil	36.43 m ²
Superficie construida	44.36 m ²	Superficie construida	47.64 m ²

Fuente: El Autor
 Elaborado por: El Autor

En el siguiente grafico se muestra la planimetría de la vivienda tipo Ciudad Alegría, esta planimetría es parte de la bibliografía técnica que nos permitirá desarrollar el ACV, también nos permitirá extraer de mejor manera la información necesaria para el desarrollo del ICV (Figura 34).



Figura 34. Planta baja y planta alta de la Vivienda tipo

Fuente: (Vivem, 2010)

Elaborado por: El Autor

De igual manera se obtuvo el resto de la información técnica detallada del diseño constructivo de la vivienda, esta información nos permite entender todos los componentes, elementos y sistemas constructivos que componen al edificio. Esta información técnica se encuentra en los Anexos (Anexos 1)

3.3.2.1. Sistema Constructivo de la vivienda tipo Ciudad Alegría

La vivienda está diseñada técnicamente según lo especificado en la norma ecuatoriana de la Construcción NEC-11, y en base a esta norma se diseñó los sistemas constructivos. El principal sistema constructivo empleado en la vivienda tipo es el sistema de estructura de hormigón armado, este sistema constructivo el más tradicional y común de la ciudad de Loja. De igual manera para la envolvente y cubierta se utilizan los sistemas más usados en

la ciudad. En la siguiente tabla se presenta la inflación general de los sistemas y elementos constructivos de la vivienda tipo (Tabla 17).

Tabla 17. Sistemas constructivos de la vivienda tipo ciudad Alegría

Sistemas y elementos constructivos de la vivienda tipo Ciudad Alegría		
Grupo	Sistema	Materiales y elementos generales
0.Cimentacion	Hormigón armado	Hormigón simple resistencia de 210 Kg/cm ²
		Acero de refuerzo de resistencia de 4200 kg/cm ²
1. Estructura	Hormigón armado	Mampostería de piedra
		Hormigón simple resistencia de 210 Kg/cm ²
2. Losas	Losas planta baja (hormigón armado)	Acero de refuerzo de resistencia de 4200 kg/cm ²
		Hormigón de contrapiso de 180 Kg/cm ²
	Losas macizas de entrepiso (hormigón armado)	Malla electrosoldada de refuerzo
		Hormigón de contrapiso de 180 Kg/cm ²
3. Envoltorio y Compartimiento	Mampostería	Malla electrosoldada de refuerzo
		Bloque de cemento arena e = 10 cm externa
4. Cubierta	Estructura metálica	Bloque de cemento arena e = 10 cm Interna
		Perfilería de acero estructural
		Cubierta fibrocemento tipo 3
		Canal de acero galvanizado 0,8mm para AA.LL

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

3.3.2.2. Construcción y entrega

El proceso de construcción de las viviendas estaba a cargo de contratistas; cada contratista se encargaba de la construcción de quince viviendas tipo mientras era fiscalizado por personal especializado del VIVEM, no obstante pese a la fiscalización pertinente cabe mencionar que la construcción de las viviendas presentó dificultades técnicas que causaron el encarecimiento de las mismas (Cevallos, 2012).

La construcción de cada grupo de viviendas estaba planteada en un plazo de seis meses y un costo de 22 500 dólares. Ni el plazo ni el costo establecido se cumplieron, esto debido a que no se realizaron todos los estudios necesarios para la realización de un proyecto de esta magnitud. El costo de las viviendas aumentó a 25 800 dólares y el tiempo de entrega fue paulatino.

Las viviendas al ser de carácter social se entregaban con los elementos constructivos necesarios pero en obra gris y sin acabados internos. Se suponía que cada propietario se encargaría de terminar por su cuenta su vivienda, colocando los acabados que prefería y que le permita su nivel económico (Figura 35).



Figura 35. Vivienda tipo Ciudad Alegría, Estado de entrega al usuario
Fuente: E Autor
Elaborado por: El Autor

3.3.2.3. Uso de la información técnica

En base a toda la información técnica obtenida se realiza un modelado virtual de la vivienda, para esto se utiliza softwares de modelado BIM como SketchUp y Revit. El modelado junto a la información técnica nos facilitará el desarrollo del inventario de ciclo de vida y también nos permitirá realizar el ACV con mayor facilidad (Figura 36).

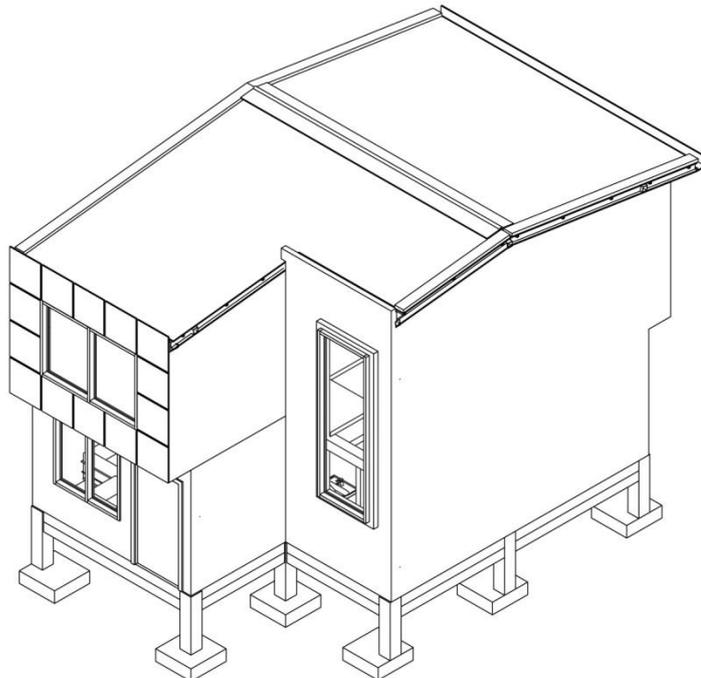


Figura 36. Redibujo y modelado 3d de la vivienda tipo Ciudad Alegría
Fuente: El Autor
Elaborado por: El Autor

3.4. Objetivos y definición de límites y de alcance

Una vez explicada la vivienda que será analizada se procede a especificar el objetivo de la aplicación del ACV y de igual manera también se procede a plantear los límites y el alcance del análisis que se hará.

3.4.1. Objetivo del ACV de la Vivienda tipo Ciudad Alegría

El objetivo es realizar una evaluación ambiental de la vivienda y calcular los impactos ambientales que emiten la vivienda en cuanto a las emisiones de CO₂ y el consumo energético. La evaluación solo considerará la calidad de materialidad de la vivienda, esto quiere decir que se enfocará en los impactos directos del objeto mas no en los impactos causados por el uso del mismo. La finalidad de la aplicación de ACV es poder comprender cuales son los impactos causados por las viviendas en cada una de sus etapas y en cada uno de los sistemas que la componen. Este análisis también nos permitirá buscar como disminuir los impactos de emisiones de CO₂ y consumo energético en los futuros.

3.4.2. Límites y alcance del ACV de la Vivienda tipo Ciudad Alegría

Los límites en cuanto a etapas de ciclo de vida son los siguientes:

- Producción (A1-A3):
Impactos producidos por la producción de los materiales o elementos constructivos.
- Transporte al lugar de obra (A4):
Impacto producido por el transporte desde la fábrica a lugar de la obra.
- Construcción y deconstrucción (A5 y C1):
Impacto producido en la construcción y derribo de la obra en general.
- Transporte al botadero (C2):
Impacto de transporte de la materia derribada al lugar de botadero o reciclaje.
- De-producción (C3-C4 o D):
Impactos producidos por el proceso de vertido, tratado o reciclado de los materiales.

Los sistemas y elementos que se analizaran de la vivienda son:

- Cimentación,
- Estructura
- Losas
- Cubierta
- Envoltentes y particiones internas

Las unidades funcionales que se usaran son el kg y el m². Estas unidades se las relacionara al m² de construcción y el peso de la vivienda como de los sistemas constructivos

3.5. Inventario de ciclo de vida (ICV) de la vivienda Ciudad Alegría

En base a la información técnica recaudada se procedes a realizar el Inventario de Ciclo de vida. Este inventario es la recopilación de los datos necesario para la realización de la Evaluación de Impactos. Tendremos dos bases de datos que usaremos para el análisis, la base de datos de cuantía de materiales y la base de datos de impactos Ecoinvent v2.

3.5.1. Inventario de materiales y elementos constructivos de la vivienda

En base a los estudios referentes y la información técnica de la vivienda se plantea la base de datos que contempla los sistemas y elementos que se analizaran de la vivienda. Esta base de datos presenta la cuantía de los materiales que serán evaluados (Tabla 18).

Tabla 18. ICV de sistemas y materiales de la vivienda tipo Ciudad Alegría

INVENTARIO DE CICLO DE VIDA							
Vivienda tipo ciudad alegría cuantificación de materiales y elementos							
Grupo	Elemento	Tipo	Material	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Masa (kg)
0.Cimentacion	0.1	Hormigón de limpieza y nivelación 50mm	Hormigón	-	0.5599	2400	1343.76
	0.2	Plinto (25x25cm) y zapatas (1x1m; 0.65x1m y 0.8x0.8m)	Hormigón	-	2.0475	2400	4914
	0.3	Viga de Cimentación (Cadena 20x20 cm)	Hormigón	-	2.013	2400	4831.2
	0.4	Mampostería de piedra	Piedra	-	1.92	2600	4992
	0.5	Acero de refuerzo Cimentación	Acero	-	-	7850	395.88
1. Estructura	1.1	Columnas de H° S° 210 Kg/cm ² , 20x20 cm	Hormigón	-	2.358	2400	5659.2
	1.2	Viga de H° S° f'c=210 Kg/cm ² , 15x20cm	Hormigón	-	0.204	2400	489.6
	1.3	Escalera de H° S° f'c=210 Kg/cm ²	Hormigón	-	0.96	2400	2304
	1.4	Dintel H.S. 180 kg/cm ² , (10x15cm)	Hormigón	-	0.29	2400	696
	1.5	Acero de refuerzo procesado a mano	Acero	-	-	7850	483.45
2. Losa	2.1	Contrapiso de H° S° f'c = 180 Kg/cm ² e = 7 cm (piso 0+00)	Hormigón	-	2.4	2400	5760
	2.2	Losa maciza entrepiso de H° S° 210 Kg/cm ² , e = 8,5 cm	Hormigón	-	3.546	2400	8510.88
	2.3	Malla electrosoldada 4x150x150 (piso 0+00)	Acero	34.24	-	7850	45.0855
	2.4	Malla electrosoldada 8x150x150 (losa +2,50)	Acero	41.31	-	7850	221.844
3. Envoltente y compartimiento	3.1	Mampostería de bloque cemento arena e = 10 cm externa	Tabique	121.8	12.181	-	11084.71
	3.2	Mampostería de bloque cemento arena e = 10 cm Interna	Tabique	55.88	5.588	-	5085.08
4. Cubierta	4.1	Perfilería estructural cubierta	Acero	-	-	7850	420.5
	4.2	Cubierta fibrocemento tipo 3 (INEN)	Fibrocement	51.64	-	1700	774.6
	4.3	Canal de acero galvanizado 0,8mm para AA.LL	Acero	12.3	-	7233	46.74

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

En base a la tabla de datos de cuantía de material también se realiza una tabla general de comparación de los materiales con las unidades funcionales del ACV, esta información nos

será útil en la etapa de interpretación de resultados. En la tabla siguiente se muestra la masa de cada sistema constructivo que conforma a la vivienda (Tabla 19)

Tabla 19. Cuantificación de materiales de la vivienda tipo Ciudad Alegría por volumen y masa

Cuantificación de Materiales (kg)				
Vivienda tipo ciudad alegría cuantificación de materiales y elementos en relación masa y área				
Grupo de sistema constructivo	Volumen (m ³)	Masa (kg)	Masa / Superficie Construida (kg/m ²)	% de masa total
0.Cimentación	6.5908	16476.84	179.09	28.5%
1. Estructura	3.8778	9632.25	104.69	16.6%
2. Losa	5.98	14315.96	155.60	24.8%
3.1 Envoltente Externa	12.181	11084.71	120.48	19.15 %
3.2 Compartimientos	5.588	5085.08	55.27	8.8%
4. Cubierta	0.991	1241.84	13.4982	2.15%
Total: Vivienda Ciudad Alegría	35.2086	57836.68	628.65	100%

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

3.5.2. Inventario de Impactos ambientales Ecoinvent v2

El inventario de impactos es tomado de la base de datos Ecoinvent v.2. Esta base de datos ofrece los impactos ambientales causados por diferentes procesos productivos y constructivos. La base de datos Ecoinvent fue obtenida y organizada en una hoja de cálculo de Excel como se muestra en el Anexo 2 (Anexo 2). En la siguiente tabla se muestra los principales impactos pre-calculados y usados para el análisis (Tabla 20).

Tabla 20. ICV de impactos calculados por la base de datos Ecoinvent 2.0

ETAPA	Item	Proceso ECOINVENT	Unidad	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)
Producción (A1-A3)	504	Concrete, normal, at plant	m ³	262.59	1466.954
	528	Limestone, crushed, for mil	kg	0.0021332	0.034489
	1141	reinforcing steel, at plant	kg	1.4854	23.32578
	505	concrete, sole plate and foundation, at plant	m ³	160.82	1253.322
	506	concrete block, at plant	m ²	0.12203	0.84539
Transporte (A4 y C2)	1944	Transport, lorry :32t, feet average	t km	0.13638	2.3624
	1943	Transport, lorry :16t, feet average	t km	0.12534	2.154539
Construcción y deconstrucción (A5 y C1)	559	diesel, burned in building machine	MJ	0.09141	1.386135
	698	Electricity mix	Kwh	0.49853	10.391529
De-producción (C3 - C4 - D)	2045	disposal, building, reinforced concrete, to final disposal	kg	0.015569	0.332142
	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156
	2007	disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal	kg	0.01397	0.307938
	2153	disposal, building, reinforced concrete, to recycling	kg	0.0055945	0.084629
	2148	disposal, building, concrete, not reinforced, to recycling	kg	0.0039948	0.060429
	2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	kg	0.057225	0.865639

Fuente: Ecoinvent 2.0

Elaborado por: El Autor

3.6. Evaluación de impactos ambientales de la vivienda Ciudad Alegría

En base a la información recaudada, los límites, y el inventario de ciclo de vida, se realiza la evaluación de los impactos producidos por la Vivienda Tipo Ciudad Alegría. La evaluación será para calcular el GWP (kg CO₂eq) y el CED (MJ)

3.6.1. Etapa de Producción (A1-A3)

Se calcula los impactos asociados que intervienen en la fase de producción de los materiales de los principales sistemas. Para esto se realiza una tabla en una hoja de cálculos donde se relacionen el inventario de materiales y el inventario de impactos Ecoinvent. El proceso de cálculo y evaluación se lo puede ver en el Anexo 3 (Anexo 3). A continuación se presenta los impactos causados por cada uno de los sistemas constructivos que conforman la vivienda (Tabla 21).

Tabla 21. Impactos de la vivienda Ciudad Alegría en etapa de Producción (A1-A3)

ETAPA DE PRODUCCIÓN (A1-A3)				
Sistemas C.	GWP (kg CO ₂ eq)	GWP kg CO ₂ eq /m ²	CED (MJ)	CED MJ/m ²
0.Cimentación	1811.959	19.695	16184.293	175.916
1. Estructura	1719.109	18.685	16868.876	183.357
2. Losa	1713.661	18.626	14436.423	156.917
3. Envolverte y compartimiento	1973.199	21.447	13669.778	148.584
4. Cubierta	900.4973	9.788	18212.336	197.960
Total Producido	8118.4282		79371.70903	
Total Producido/m²		88.24378494		862.7359678

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

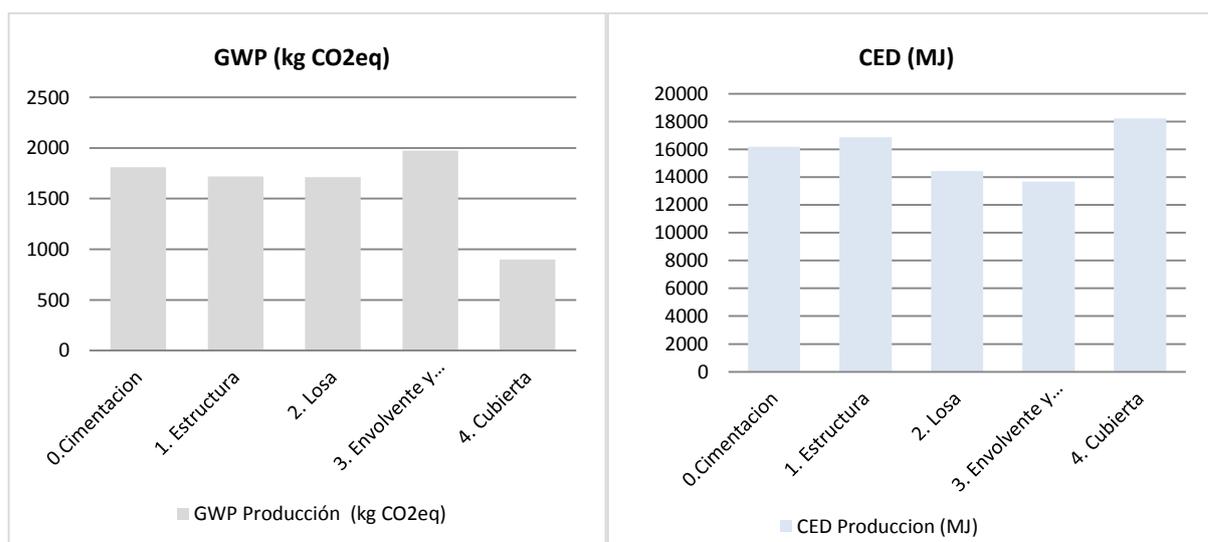


Figura 37. Impactos GWP y CED (A1-A3)

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

Se puede apreciar que el sistema constructivo que más está emitiendo CO2 es el sistema de envolvente y compartimentos, esto puede ser debido a la cantidad de material usado y a la masa del mismo. El sistema que más energía consume es el de cubierta, principalmente por la producción de acero necesario para la estructura de cubierta (Figura 37).

3.6.2. Etapa de Transporte a Obra (A4)

En esta etapa se calcula los impactos que produce el transporte de los distintos materiales y elementos constructivos desde las fábricas al lugar de obra. Los materiales principales que ocupa la vivienda son fabricados en otras provincial del país, es el caso de la fábrica de cemento Guapan ubicada a 247 km de distancia del lugar de obra, la fábricas de refuerzos de acero y de perfiles estructurales se encuentra a una distancia promedio de 419km del lugar de obra. Las demás fábricas se encuentran en la misma provincia a menores distancias (Figura 38).



Figura 38. Distancia a fábrica de cemento y fábrica de acero

Fuente: Google Maps, 2018

Elaborado por: El autor

En base a estas distancias obtenidas y usando los procesos establecidos con la base de datos Ecoinvent para los impactos de vehículos de carga se calcula los impactos causado en la etapa de transporte. El proceso de cálculo y evaluación se lo puede ver en el Anexo 4 (Anexo 4). A continuación se presenta los impactos causados (Tabla 22).

Tabla 22. Impactos de la vivienda Ciudad Alegría en etapa de transporte (A4)

ETAPA DE TRANSPORTE A OBRA (A4)				
Sistemas C	GWP (kg CO2eq)	GWP/Área (Kg CO2eq /m2)	CED (MJ)	CED / Área (MJ/m2)
0.Cimentación	397.199	4.22515	6877.023	74.7502
1. Estructura	332.3270	3.499621	5753.264	62.5354
2. Losa	492.799	5.2943	8534.498	92.7662
3. Envolvente y compartimiento	6.080	0.06608	104.5153	1.13603
4. Cubierta	87.645	0.8438	1506.590	16.3759
Total Producido	1316.051		22775.89	
Total Producido/m2		14.304		247.564

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

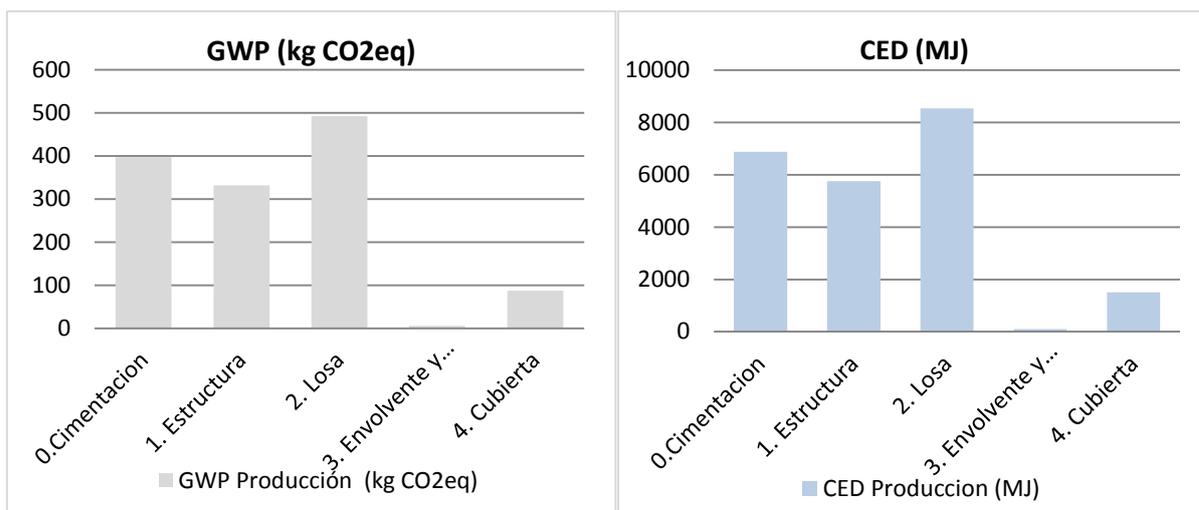


Figura 39. Impactos GWP y CED (A4)

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

Se puede observar que el sistema que menor impacto causa es el de envolverte y particiones, esto es debido a la cercanía de la fábrica de bloques. El sistemas de cubierta es el segundo en causar menos impacto pero esto no se debería a la distancia de la fábrica, más bien se debe a la masa o peso del material trasportado en este caso el acero de la estructura. Podemos notar que el peso del material influye en el impacto de transporte, esto se puede apreciar en el impacto causado por los sistemas de hormigón armado en la cimentación, estructura y losas (Figura 39).

3.6.3. Etapa de Construcción y deconstrucción (A5 y C1)

En esta etapa se realiza los cálculos de impactos GWP y CED causados por los procesos de construcción y deconstrucción de la vivienda. El análisis va en relación a la energía eléctrica y al combustible consumido por la mano de obra y la maquinaria en los procesos de construcción y demolición de la edificación. Para realizar la evaluación de Electricidad (kWh) y Diésel (MJ) nos basamos en el cálculo de Kellenberger el cual es presentado en la siguiente tabla (Tabla 23).

Tabla 23 Cálculo de diésel y electricidad consumida en etapa A5 y C1

Consumo de Energía Primaria	(MJ/m3 material)
Construcción	481
Reformación	741
Demolición	370
Total	1222
Diésel consumido en maquinaria (70%)	855
Consumo Energético (30%)	136

Fuente: (García Martínez, 2010., Kellenberger, 2004)

Elaborado por: El Autor

En el cálculo de Kellenberger se define el consumo eléctrico a un 30%, el consumo de diésel en las maquinarias a un 70%. Este cálculo se ha usado y ya en diversos estudios de ACV de vivienda (García, 2010., Soust-Verdaguer, 2017., Reyes, 2017). El proceso de cálculo y evaluación se lo puede ver en el Anexo 5. A continuación se presenta los impactos causados por cada uno de los sistemas en esta etapa (Tabla 24).

Tabla 24. Impactos de la vivienda Ciudad Alegría etapa de construcción y deconstrucción (A5 y C1)

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y DE-CONSTRUCCIÓN (A5 Y C1)				
Sistema C.	GWP (kg CO2eq)	GWP kg CO2eq /m2	CED (MJ)	CED (MJ/m2)
0.Cimentación	639.237	6.9482	10398.447	113.0266
1. Estructura	321.083	3.4900	4906.0469	53.3265
2. Losa	495.702	5.3880	7574.1620	82.3278
3. Envoltente y compartimiento	1472.883	16.009	22505.133	244.621
4. Cubierta	353.116	3.8382	5395.493	58.6466
Total Producido	3282.023		50779.28345	
Total Producido/m2		35.67417		551.9487

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

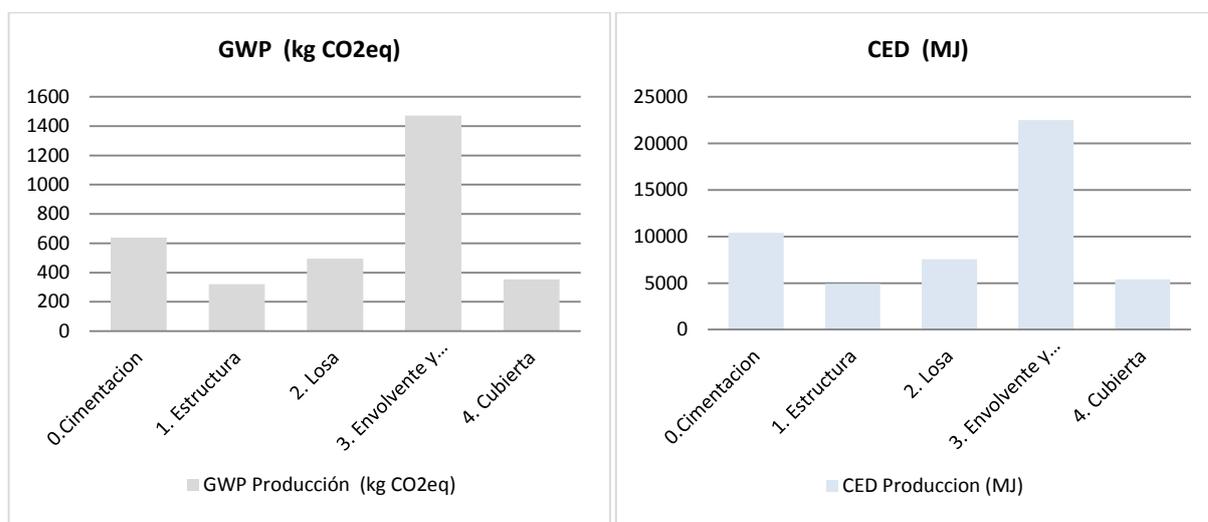


Figura 40. Impactos GWP y CED (A5 y C1)

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

El análisis nos permite notar que el sistema de envoltentes y particiones es el que mayor impacto causa, tanto de CO2 como de consumo energético; este alto impacto se debe a dos factores, primero el peso del material de mampostería de bloque y segundo al volumen de material utilizado en la construcción, esto implica que a mayor volumen de material se realizará mayor volumen de trabajo de construcción o deconstrucción (Figura 40). Es notable igualmente que la materialidad de la envoltente externa sea la misma que de las particiones internas.

3.6.4. Etapa de Transporte al vertedero (C2)

En esta etapa se calcula los impactos que produce el transporte de los materiales derribados al lugar de disposición final o vertedero. En este caso la distancia del lugar de obra al lugar de vertedero es de un aproximado de 5km. El proceso de cálculo se lo puede ver en el Anexo 6 (Anexo 6). A continuación se presenta los impactos causados (Tabla 25).

Tabla 25. Impactos de la vivienda Ciudad Alegría etapa de transporte al vertedero (C2)

ETAPA TRASPORTE AL LUGAR VERTEDERO (C2)				
Sistemas C.	GWP (kg CO2eq)	GWP kg CO2eq /m2	CED (MJ)	CED (MJ/m2)
0.Cimentación	10.3260	0.11223	177.499	1.9293
1. Estructura	6.0365	0.06561	103.765	1.12788
2. Losa	9.1108	0.09903	156.611	1.70229
3. Envoltente y compartimiento	10.1336	0.11014	174.192	1.89339
4. Cubierta	0.7782	0.00845	13.3779	0.1454
Total Producido	36.38528		625.4468	
Total Producido/m2		0.39549		6.798

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

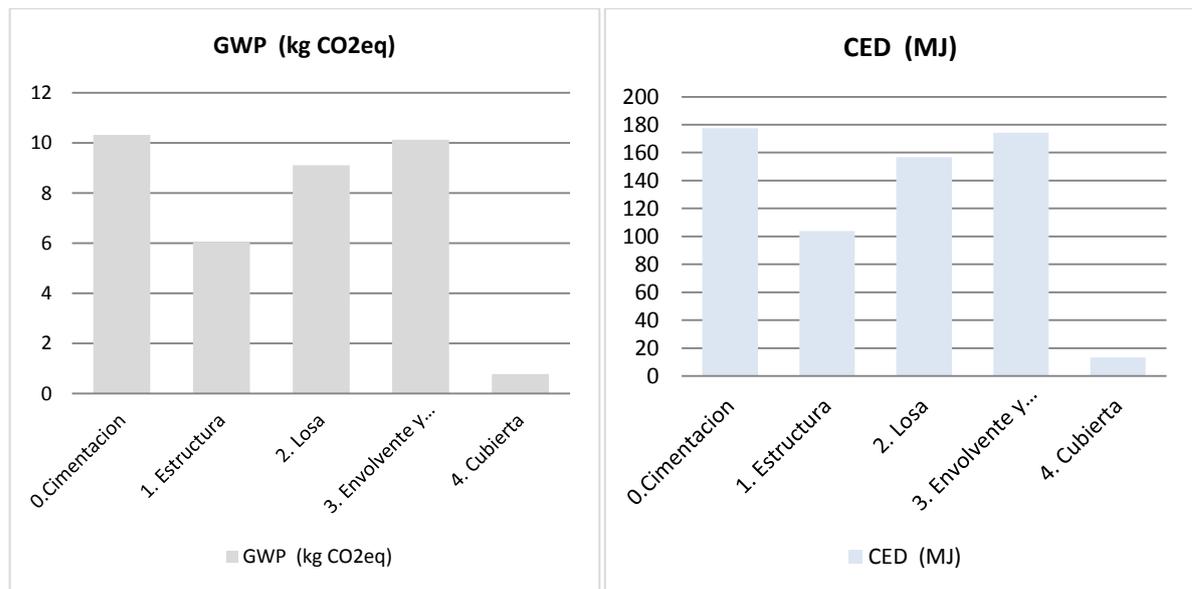


Figura 41. Impactos GWP y CED (C2)

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

Los impactos producidos por esta etapa son muy pocos en comparación a la etapa A4, esto se debe a que la distancia al vertedero es mucho menor, no obstante se puede notar como el volumen y masa de los materiales influye en los impactos causados ya que a pesar de la corta distancia, los sistemas de mayor masa y volumen fueron los que causaron mayor impacto. Los sistemas de hormigón armado son lo que más impacto causan, igualmente es

de destacar que el sistema de envolvente y particiones es segundo sistema que más impacto causa, esto se debe a la cantidad de volumen de material.

3.6.5. Etapa de De-producción (C3 - C4 - D)

Esta etapa se analizará la disposición final de los sistemas derribados y se calcula el impacto producido durante los procesos de vertido, tratado o reciclado de los materiales. Para esta etapa se analizará dos tipos de procesos, uno es el proceso de vertido a disposición final y el otro es el proceso de reciclaje. En el contexto de Loja el proceso usado es el de vertido a disposición final de los escombros de materiales, no obstante analizar el proceso de reciclaje nos permitiría realizar una comparativa de impactos y definir cuál de los procesos es más óptimo. El cálculo se lo puede ver en el Anexo 7 (Anexo 7). A continuación se presenta los impactos causados en el proceso de vertido (Tabla 26, Figuras 42)

Tabla 26. Impactos de la vivienda Ciudad Alegría etapa de deproducción a vertedero (C3-C4)

ETAPA DE DE-PRODUCCIÓN (C3 - C4 - D) – (A VERTEDERO)(C3-C4)				
Sistema C.	GWP (kg CO2eq)	GWP kg CO2eq /m2	CED (MJ)	CED (MJ/m2)
0.Cimentación	245.704	2.6706	5155.706	56.040
1. Estructura	172.043	1.8700	3504.821	38.095
2. Losa	238.529	2.5927	4997.320	54.3186
3. Envolvente y compartimiento	225.891	2.4553	4979.29	54.122
4. Cubierta	39.434	0.428	689.021	7.4893
Total Producido	921.603		19326.162	
Total Producido/m2		10.017		210.066

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

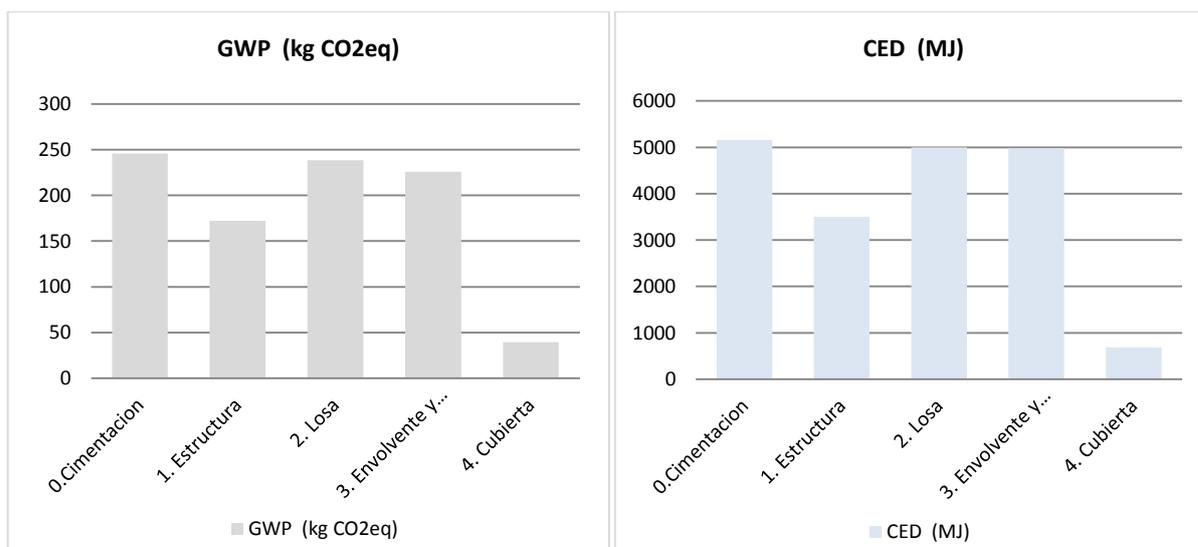


Figura 42. Impactos GWP y CED (C3-C4)

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

También se realiza el análisis de impactos de de-producción por reciclaje, este proceso no es comúnmente usado en el contexto de la ciudad, por lo general los escombros de demolición de construcción son vertidos, no obstante el proceso de tratamiento por reciclaje es el más aconsejado ambientalmente. A continuación se presenta los impactos causados en un hipotético proceso de reciclaje (Tabla 27) (Figura 43).

Tabla 27. Impactos de la vivienda Ciudad Alegría etapa de deproducción a Reciclaje (D)

ETAPA DE DE-PRODUCCIÓN (C3 - C4 - D) – (A RECICLAJE)(D)				
Sistema C.	GWP (kg CO2eq)	GWP kg CO2eq /m2	CED (MJ)	CED (MJ/m2)
0.Cimentación	121.3586954	1.319116255	1850.767343	20.11703634
1. Estructura	80.7884727	0.878135573	1240.375013	13.4823371
2. Losa	96.18466688	1.04548551	1465.091983	15.92491285
3. Envoltente y compartimiento	64.59507709	0.702120403	977.1242399	10.62091565
4. Cubierta	29.83218108	0.324262838	451.2694698	4.905102932
Total Producido	392.7590932		5984.628049	
Total Producido/m2		4.269120578		65.05030488

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

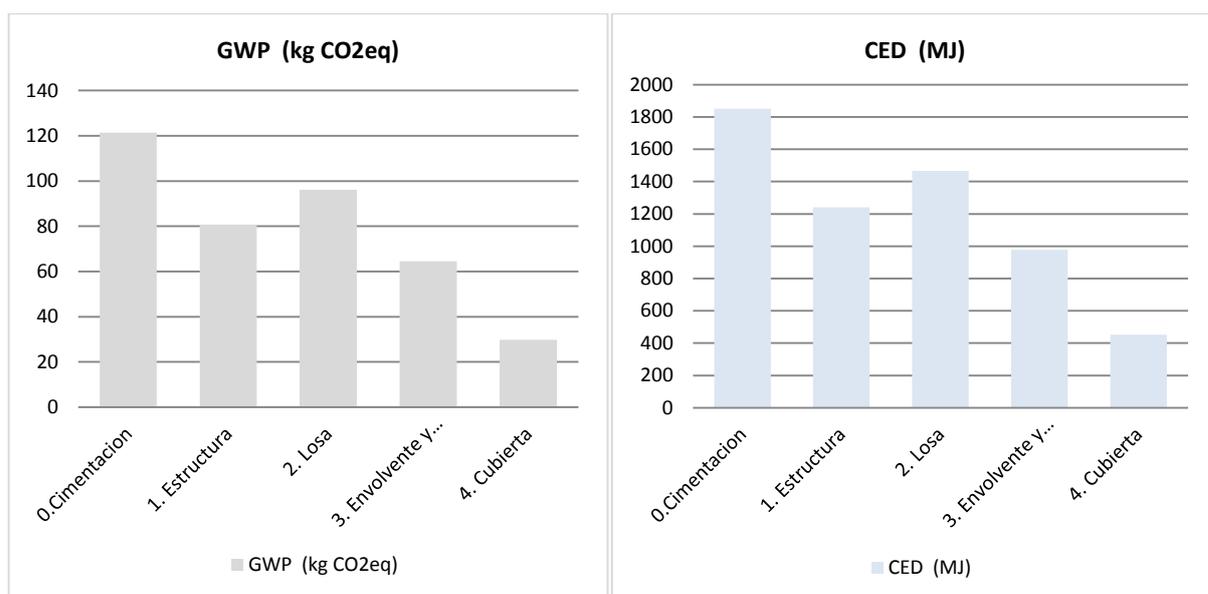


Figura 43. Impactos GWP y CED (D)

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

Los impactos producidos en la etapa de de-producción nos vuelve a hacer notar como el volumen y masa de los materiales industrializados influye en los impactos producidos, debido a esto se aprecia que los sistemas más pesados son los de mayor impacto.

3.7. Presentación e Interpretación de resultados del ACV de la vivienda tipo Ciudad Alegría

Usando los datos obtenidos del ACV se procede a presentar los resultados finales, estos resultados serán tanto de la evaluación por etapas de ciclo de vida como de la evaluación por sistemas constructivos. La interpretación de los resultados nos podrá hacer llegar a conclusiones sobre los impactos GWP y CED causados por la vivienda, y a su vez poder proponer estrategias de disminución de impactos de futuros proyectos.

3.7.1. Resultados por Etapas de ciclo de vida

Una vez obtenidos los resultados de cada una de las etapas analizadas de la vivienda tipo Ciudad Alegría, se pasa a exponer los cálculos totales obtenidos en el desarrollo del análisis. Al interpretar estos resultados nos permitirán llegar a conclusiones que expliquen analíticamente la evaluación ambiental de cada etapa. A continuación se presenta el análisis y el resultado en una tabla y gráficas de los impactos totales causados por cada una de las etapas (Tabla 28).

Tabla 28. Resultado de ACV por etapas de ciclo de vida de la vivienda. Impactos totales

RESULTADO DE IMPACTOS DE LAS ETAPAS DE LA VIVIENDA TIPO CIUDAD ALEGRÍA				
Sistema C.	GWP (kg CO₂eq)	GWP kg CO₂eq /m²	CED (MJ)	CED (MJ/m²)
E. PRODUCCIÓN (A1-A3)	8118.428	88.2437	79371.709	862.735
E. TRANSPORTE (A 4)	1316.051	14.304	22775.89	247.564
E. CONS/ DE-CONS (A 5 y C1)	3282.023	35.674	50779.28	551.94
E. TRANSPORTE 2 (C2)	36.385	0.3954	625.44	6.798
E. DE-PRODUCCIÓN (C3-C4)	921.602	10.0174	19326.162	210.066
Total Producido	13674.491		172878.494	
Total Producido/m²		148. 635		1879.114

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

Los resultados del ACV nos muestran que la etapa de producción de materiales de construcción (A1-A3) es la más contaminante, produciendo los mayores impactos GWP y CED. La etapa de construcción y deconstrucción es la segunda más contaminante, esto se debería al peso de los materiales lo que implica mayor fuerza de trabajo. La etapa de transporte a obra también causa un impacto considerable, esto se debe de igual manera al peso de los principales materiales y a la distancia del lugar de fábrica (Figura 44).

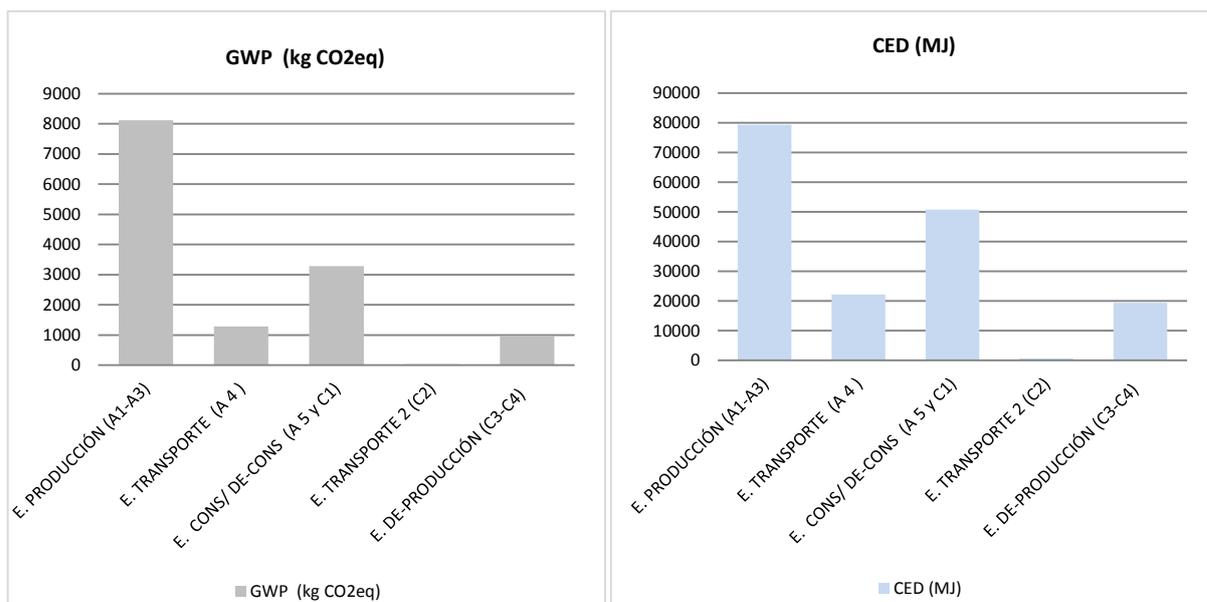


Figura 44. Impactos GWP y CED total, por etapas

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

3.7.2. Resultados por Sistemas Constructivos

La interpretación del ACV de los sistemas de la vivienda nos permitirá definir que sistemas son lo que generan mayores impactos y cuales serían la causa de esto. A continuación se presenta el análisis y el resultado en una tabla y gráficas de los impactos totales causados por los principales sistemas constructivos que comprende la vivienda tipo (Tabla 29).

Tabla 29. Resultado del ACV por sistemas constructivos de la vivienda. Impactos totales.

RESULTADO DE IMPACTOS DE LOS SISTEMAS DE LA VIVIENDA TIPO CIUDAD ALEGRÍA					
Sistema C.	Masa del Sistema (kg)	GWP (kg CO2eq)	GWP kg CO2eq /m2	CED (MJ)	CED (MJ/m2)
0.Cimentación	16476.84	3104.426	33.743	38792.97	421.66
1. Estructura	9632.25	2550.60	27.72	31136.7	338.44
2. Losa	14537.80	2949.80	32.063	35699.01	388.032
3. Envoltente y compartimiento	16169.79	3688.188	40.08	41432.91	450.35
4. Cubierta	1241.84	1381.471	15.3415	26373.01	286.663
Total	57836.68	13674.491		172878.494	
Total/m2	628.65		148.635		1879.114

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

Los resultados del ACV nos muestran que el sistema de envoltente y particiones de Bloques de hormigón es el más contaminante, produciendo los mayores impactos GWP y CED, una de las causas de esto sería la masa del sistema y otra causa es que se utiliza el mismo

sistema de bloque tanto para la envolventes externas como para las particiones internas cuando se pudo haber considerado otro sistema más liviano para las particiones internas.

Los siguientes sistemas más contaminantes son los de cimentación, losas y estructura, en ese respectivo orden. Todos estos sistemas tienen en común ser de hormigón armado, un sistema constructivo tradicional y de gran peso, hormigón armado es el material más usado en la ciudad de Loja. Se podría decir que para el desarrollo de cimentaciones el uso de hormigón armado es la única opción, no obstante para el caso de losas y en especial de estructura existen otros materiales que podrían considerarse. El sistema de cubierta es el que menor impacto causa, no obstante su consumo (Figura 45).

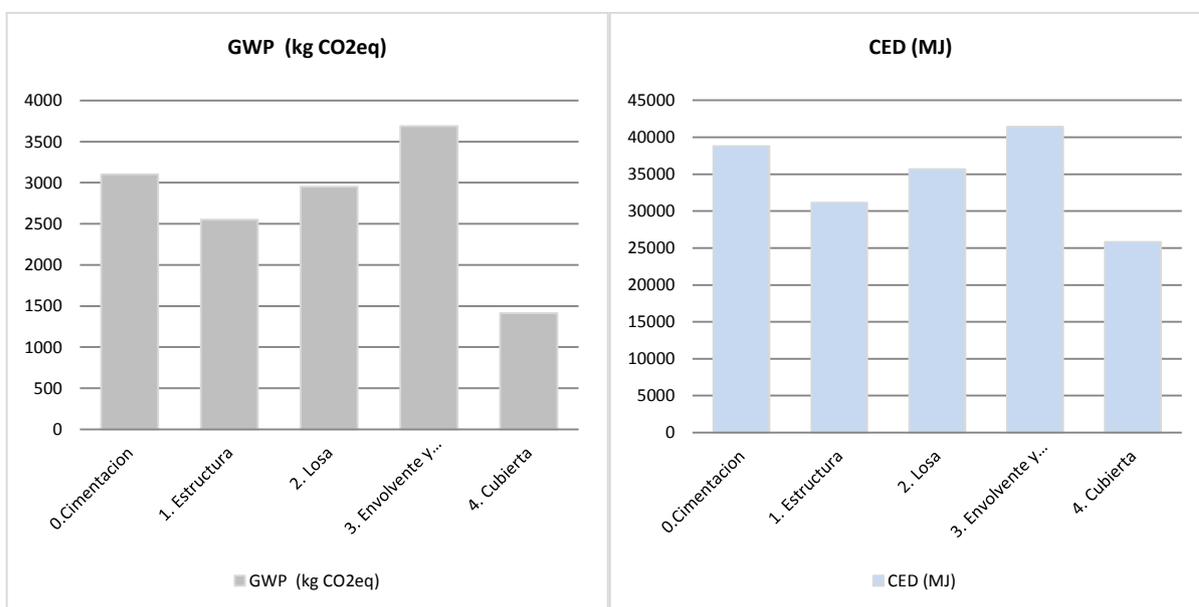


Figura 45. Impactos GWP y CED total, por sistemas

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

También podemos notar que existen una relación entre la masa y volumen de los sistemas constructivos y los impactos que causa, en especial en etapas como las de construcción y deconstrucción, transporte y de-producción. En estas etapas el uso de un sistema constructivo pesado podría ser causa de mayor generación de impactos, por ende sería preferible aplicar sistemas más livianos. Esta hipótesis podrá ser confirmada o negada en el siguiente capítulo en el ACV de los sistemas constructivos de la ciudad de Loja.

Finalmente el resultado completo del análisis nos dice que el impacto de la unidad de vivienda tipo Ciudad Alegría es de 13 674.49 kg CO² eq GWP y 172 878.49 MJ CED, impactos relativamente no tan grandes no obstante también se debe considerar a la vivienda como parte de un conjunto de viviendas en masa. En este caso los impactos de la

vivienda deben ser multiplicados por 617 que es el número de las viviendas construidas en el proyecto Ciudad Alegría de esta manera pasan a ser 8 437 160.33 kg CO² eq GWP (Figura 46) y 106 666 028.3 MJ CED equivalentes a 29 629 452.22 kwh. De esta manera se puede apreciar el problema ambiental real causado por los proyectos de viviendas.

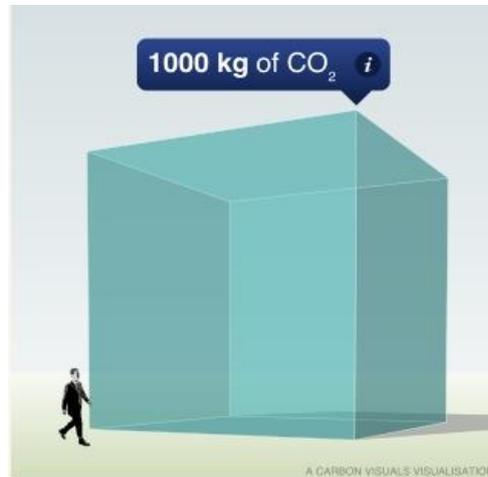


Figura 46. Tonelada de CO2 en volumen
Fuente: carbonquilt.org
Elaborado por: El autor

3.7.3. Resultados de de-producción por vertido y reciclaje

Al haber realizado el análisis de dos procesos de de-producción, uno por vertedero y otro por reciclaje, se nos facilitó realizar un análisis comparativo. En el análisis comparativo vemos que los impactos GWP y CED causado por reciclaje son menores a los causados por vertido (Figura 47).

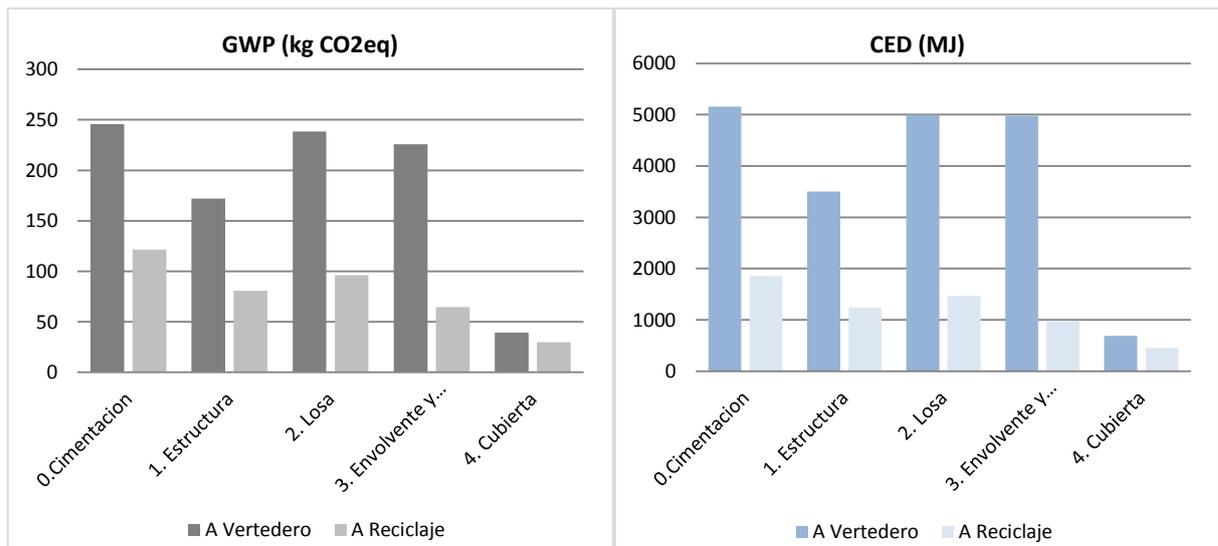


Figura 47. Impactos GWP y CED (C2-C3 vs D)
Fuente: El Autor
Elaborado por: El autor

Los resultados nos dicen que los impactos totales de GWP de de-produccion por vertido son de 951.5538 kg CO²eq, por otra parte los impactos GWP por reciclaje son de 392.759 kg CO²eq, menos de la mitad del impacto por vertido. En el indicador CED (MJ) pasa lo mismo que en el GWP. Podemos decir que el reciclado de los materiales emite menos impactos que el vertido y también permite el desarrollo de nueva materia prima.

3.8. Conclusiones del ACV de la Vivienda Tipo Ciudad Alegría

En base al análisis e interpretación realizada del ACV de la vivienda tipo ciudad alegría podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- La Etapa A 1-3, relacionada a la producción de los materiales, es la que más impactos y consumo energético causa.
- La Etapa de A4 de Transporte de materiales a lugar de obra, es considerable, esto debido al peso de los materiales y a la lejanía de las fábricas de los principales materiales como lo es cemento y acero.
- El sistema de envolvente y particiones de Bloque es que mayor impacto y consumo de energía causa. Esto se debería a su volumen de obra ya que se emplea este sistema para todos los muros de la vivienda.
- Los sistemas de estructura y losas causan un impacto considerable debido al volumen de obra y a su materialidad de hormigón armado, un sistema constructivo pesado, lo que aumenta su impacto en etapas como las de transporte, construcción y deconstrucción.
- El impacto causado por la vivienda tipo debe ser considerado de manera unitaria en un principio no obstante también se debe considerar a la vivienda como parte de un conjunto de viviendas en masa. En este caso los impactos de la vivienda tipo aumenta drásticamente en relación al número de viviendas del proyecto, siendo esto verdaderamente perjudiciales.

Antes de realizar la interpretación final, conclusiones y las recomendaciones de disminución de impactos se realiza un análisis de ciclo de vida de los principales sistemas constructivos usados para viviendas en la ciudad de Loja. Este análisis nos permitirá entender mejor la problemática ambiental de la vivienda y complementara el ACV de la vivienda tipo Ciudad Alegría.

CAPÍTULO IV
ACV DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CONTEMPORÁNEOS DE LA CIUDAD DE
LOJA

4.1. Introducción capitular

Para poder entender a la vivienda en la complejidad que la comprende es necesario también entender las partes de las cuales está conformada. Debido a esto se plantea realizar el ACV de los principales sistemas constructivos más utilizados y ofertados en la ciudad de Loja para el desarrollo de edificaciones tipo vivienda, este segundo análisis de ciclo de vida nos permitirá llegar a conclusiones y recomendaciones más amplias en relación al uso de sistemas constructivos de menor impacto para el desarrollo de viviendas de carácter social.

4.2. Sistemas Constructivos de la Edificación

La edificación está compuesta de una serie de sistemas que les permite fusionar como uno solo; estos sistemas constructivos son las partes que conforman a la edificación y cada uno de estos cumple una función en específico. Los sistemas constructivos a su vez tienen subsistemas y elementos de características físicas, técnicas y materiales que lo identifican y le permiten cumplir su función puntual.

4.2.1. Tipos de sistemas constructivos

Hay gran cantidad de sistemas, subsistemas y elementos que pueden ser usados para el desarrollo de una edificación, no obstante los más importantes y generales son estos:

- Cimentación
- Estructura
- Entrepiso o Losas
- Cubierta
- Cerramientos exteriores o Envolverte
- Particiones interiores
- Carpinterías
- Acabados
- Pavimentos

Cada uno de estos sistemas tienen diferentes opciones o posibilidades de materialidad para su desarrollo, esto depende del tipo de sistema y la función para lo cual será utilizado. Normalmente la materialidad y la técnica del sistema constructivo son sus características más importantes, estas características nos permiten realizar una clasificación de tipos de sistemas dentro de los grupos ya establecidos.

Como sabemos en la ciudad se emplean diferentes sistemas constructivos, no obstante la tradición constructiva del país y de la ciudad no ha presentado un mayor desarrollo, lo que ha causado que no existan una variedad notable en los sistemas constructivos ni en su materialidad ni técnica; esto se puede apreciar en el constante y mayoritario uso de sistemas constructivos y materiales puntuales como es el caso de los sistemas constructivos de hormigón armado que es el más utilizados para el caso de estructuras, de igual manera los sistemas constructivos de particiones por Bloque de cemento o ladrillo artesanal. En la siguiente tabla se muestra cuáles son los sistemas constructivos más utilizados en el desarrollo de vivienda en la ciudad de Loja, y por lo tanto también cuales son los sistemas más ofertados (Tabla 31).

Tabla 31. Sistemas constructivos y materiales más utilizados en la vivienda de la ciudad de Loja

Sistemas	Material del sistema	Porcentaje de uso
Cimentación	Hormigón armado	79,26%
	Hormigón Ciclópeo	8,8%
	Otros	11,9%
Estructura	Hormigón Armado	89,99%
	Estructura metálica	4,9%
	Madera	0,2%
	Otros	4,8%
Pisos	Ladrillo o Cemento	36,46%
	Entablado o parquet	28,58%
	Cerámica, Baldosa	25,79%
	Tierra	7,3%
	Otros	1,86%
Particiones	Ladrillo o Bloque	68,89%
	Hormigón	9,60%
	Madera	6,67%
	Adobe o Tapia	5,68%
	Otros	0,31%
Cubierta	Zinc	44,68%
	Losa de Hormigón	29,65%
	Asbesto	15,12%
	Teja Cerámica	9,13%
	Otros	1,41%

Fuente: (INEC, 2017)

Elaborado por: El autor

4.3. Selección de sistemas para el ACV

Para seleccionar los sistemas a analizar se plantea algunas pautas a cumplir; los sistemas serán escogidos en relación a:

- Las conclusiones del previo análisis de la vivienda tipo Ciudad Alegría y sus sistemas
- La cantidad o volumen que comprende el sistema en una edificación
- La existencia de varios tipos de materialidad del sistema para poder ser comparado
- La presencia de un desequilibrio entre los porcentajes de uso de materiales ofertados en la ciudad
- La oferta y uso común del sistema para la construcción de vivienda en Loja

En base a estos parámetros se concluye que los sistemas a analizar son los de estructura y envolvente y particiones. Puntualmente se definen los siguientes sistemas:

- Sistemas de estructura:
 - Acero
 - Hormigón armado (H.A)
- Sistemas de envolventes y particiones
 - Bloque de hormigón
 - Ladrillo de arcilla
 - Gypsum

4.4. ACV de los Sistemas Constructivos

El ACV de los sistemas constructivos nos permitirá calcular los impactos que causan en emisiones de $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$ y en consumo energético (MJ). Este cálculo a su vez nos permitirá interpretar y concluir cuál de los sistemas es ambientalmente más favorable entre sus semejantes; de esta manera complementaremos el análisis realizado a la vivienda tipo Ciudad Alegría y podremos llegar a conclusiones que permitan proponer la aplicación de pautas para la disminución de impactos en el desarrollo de proyectos de vivienda.

4.4.1. Metodología ACV

Para el desarrollo del ACV de los sistemas se utiliza la misma metodología antes desarrollada y también aplicada en el ACV de la vivienda tipo Ciudad Alegría. Esta metodología establece el uso del método CLM 2002 para la evaluación. La unidad funcional será definida por cada sistema, en el caso de sistema de envolventes y particiones la unidad funcional será el m^2 de pared por otra parte la unidad del sistema de estructura será tanto el kg y la (u) de un pilar estructural. Los indicadores de impactos serán los mismos ya usados en el análisis de la vivienda:

- Global Warming Potential (GWP) medido en $\text{KgCO}_2 \text{ eq}$
- Cumulative Energy Demand o Demanda de Energía medido en MJ

La base de datos que se usara es la Ecoinvent 2.2. Todos los cálculos se los realizara en hojas de cálculo de Excel, y los resultados se los expresara mediante tablas y gráficas. Las etapas a analizar del ciclo de vida son:

- Producción (A1-A3)
- Transporte al lugar de obra (A4)
- Construcción y deconstrucción (A5 y C1)
- Transporte al botadero (C2)
- De-producción (C3-C4 o D)

En el caso de análisis de las etapas de transporte se considerara la misma ubicación del proyecto Ciudad Alegría, esto para establecer las distancias de transporte tanto de la fábrica al lugar de obra como del lugar de obra al vertedero. Para concluir se presentara los resultados y se realizaría un análisis comparativo de estos, esto nos permitirá definir cuál es el sistema constructivo ambientalmente más eficiente.

4.5. Análisis de Sistemas de Estructura

Se plantea analizar los dos sistemas estructurales más utilizados para el desarrollo de edificaciones en la ciudad de Loja:

- Sistemas de estructura de hormigón armado
- Sistemas de estructura de acero

Para el análisis se plantea usar una unidad funcional que nos permita comparar los sistemas constructivos, por esto se selecciona el (kg) como unidad base para un primer análisis, no obstante también se realizará un análisis más fiel a la realidad de la construcción por lo tanto se tomara como unidad funcional un elemento estructural en este caso (u) un pilar. Para obtener los datos técnicos de los sistemas constructivos nos basaremos en el análisis del sistema estructural de Vivienda tipo Ciudad Alegría y también en norma ecuatoriana de la Construcción NEC-11. El pilar que será analizado se lo proyecta y caracteriza en relación al NEC-11 y se lo relaciona con las cualidades técnicas mínimas que debe cumplir un pilar para su uso en una edificación mínima tipo vivienda social de dos plantas, tomando como ejemplo la vivienda Ciudad Alegría.

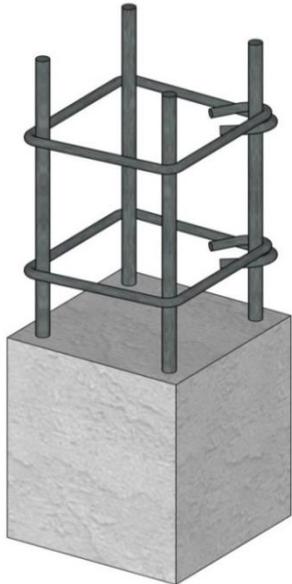
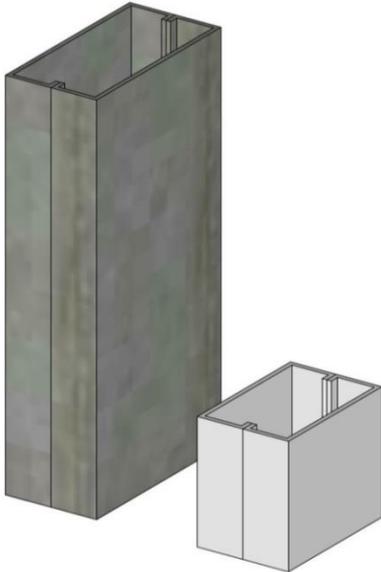
4.5.1. Objetivos y alcance

Con este análisis podremos definir cuál es el sistema estructural ambientalmente más eficiente, y cuál sería el sistema que debería ser considerado para el desarrollo de viviendas menos contaminantes. Cabe recalcar que el sistema de hormigón armado es el más usado y el más demandado en la ciudad, por otra parte el sistema de acero o estructura metálica es muy poco usado en la ciudad.

4.5.1. Inventario de Ciclo de Vida

La siguiente tabla presenta el inventario de los datos técnicos de los sistemas (Tabla 32).

Tabla 32. Datos técnicos de sistemas de estructura de hormigón armado y acero

ACV DE SISTEMAS ESTRUCTURALES			
Sistema de Hormigón Armado (Uso 89,99%)		Sistema de Acero (Uso 4,9%)	
Pilar de Hormigón Armado		Pilar de Hormigón Armado	
Sección:	20 x 20 cm	Sección:	20 x 10 cm
Altura:	2.57m	Altura:	2.57m
Peso:	260.56 kg	Peso:	37.57 kg
			
Componentes		Componentes	
Hormigón	H.A. 240 kg/cm ²		
Acero de refuerzo	Varillas Ø12mm	Acero estructural	2 Perfiles Tipo G de 20cm x 5cm x 3mm
	Estribos Ø8mm		7.31 kg/m
ICV		ICV	
Unidad F:	(1 m3) de H.A.	Unidad Funcional:	(1 m) de Pilar de Acero
Hormigón	2400 kg		
Acero	141.63 kg		
Unidad F:	(kg) de H.A.	Acero	14.56 kg
Hormigón	1 kg		
Acero	0.059 kg		
Unidad Funcional: (U) Pilar de H.A.		Unidad Funcional: (U) Pilar de Acero	
Hormigón	0.1028 m3		
	246 kg	Acero	37.57 kg
Acero	14.56 kg		

Fuente: Norma ecuatoriana de la Construcción NEC-11

Elaborado por: El autor

El inventario de impactos es tomado de la base de datos Ecoinvent v.2. En la siguiente tabla se muestra los principales impactos previamente calculados y usados en el análisis (Tabla 33).

Tabla 33. ICV de impactos de base de datos Ecoinvent para ACV de sistemas de estructura

ETAPA	Item	Proceso ECOINVENT	Unidad	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)
Producción (A1-A3)	504	Concrete, normal, at plant	m ³	262.59	1466.954
	1141	reinforcing steel, at plant	kg	1.4854	23.32578
Transporte (A4 y C2)	1944	Transport, lorry :32t, feet average	t km	0.13638	2.3624
	1943	Transport, lorry :16t, feet average	t km	0.12534	2.154539
Construcción y deconstrucción (A5 y C1)	559	diesel, burned in building machine	MJ	0.09141	1.386135
	698	Electricity mix	Kwh	0.49853	10.391529
De-producción (C3 - C4 - D)	2045	disposal, building, reinforced concrete, to final disposal	kg	0.015569	0.332142
	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156
	2153	disposal, building, reinforced concrete, to recycling	kg	0.0055945	0.084629
	2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	kg	0.057225	0.865639

Fuente: Ecoinvent 2.0

Elaborado por: El autor

4.5.2. ACV Sistema de estructura de Hormigón Armado

El sistema de hormigón armado es el más utilizado en el país para el desarrollo de estructuras. Se analiza primero los impactos GWP y CED en base a la unidad funcional de kg de hormigón armado, posterior a esto se realiza la evaluación más puntual de la unidad funcional de Pilar de hormigón armado. El proceso de cálculo y evaluación se lo puede ver en el Anexo 8 (Anexo 8).

4.5.2.1. ACV en relación a unidad funcional de kg de H.A

En la siguiente tabla se presentan los impactos causados por el sistema de H.A (Tabla 34).

Tabla 34. Resultados de cálculo EICV de kg de H.A

ACV de Sistema Estructural de Hormigón Armado (Kg)		
Sistema C.	GWP (kg CO ₂ eq / kg de H.A)	CED (MJ / kg de H.A)
E. PRODUCCIÓN (A1-A3)	0.1970	1.9874
E. TRANSPORTE (A 4)	0.0353	0.6126
E. CONS/ DE-CONS (A 5 y C1)	0.0411	0.6692
E. TRANSPORTE 2 (C2)	0.000663	0.01140
E. DE-PRODUCCIÓN (VERTEDERO) (C3-C4)	0.0191	0.3890
E. DE-PRODUCCIÓN (RECICLAJE) (D)	0.0125	0.1925
Total Producido	0.2934	3.6698

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

En todos los análisis en la sumatoria de los impactos totales no se considera los impactos causados por la Etapa de de-producción por reciclaje (D), ya que este proceso no es frecuentemente usado en la ciudad de Loja, más bien se toma en cuenta el poseso de de-producción por vertido. El cálculo de la Etapa de de-producción por reciclaje (D) nos permitirá posteriormente compara los resultados por tipo de de-producción.

4.5.2.2. ACV de unidad funcional de pilar de Hormigón Armado

Para el análisis se plantea un pilar de hormigón armado de sección 20cm x 20cm, esta es la sección mínima establecida por la NEC-11. El pilar cuenta con altura de 257 cm y refuerzos de acero, 4 varillas de 12mm y los estribos de 8mm. Las características del pilar son tomadas de los pilares de la planta baja de la vivienda tipo Ciudad Alegría, la cual cumple con la norma NEC-11.

En la siguiente tabla se presentan los impactos causados por el pilar de H.A (Tabla 35).

Tabla 35. Resultados de cálculo EICV de Pilar de Hormigón Armado

ACV de Sistema Estructural de Hormigón Armado, (Pilar de 20x20x257cm)		
Sistema C.	GWP (kg CO2eq)	CED (MJ)
E. PRODUCCIÓN (A1-A3)	48.5428	489.986
E. TRANSPORTE (A 4)	9.0178	156.107
E. CONS/ DE-CONS (A 5 y C1)	10.1503	165.115
E. TRANSPORTE 2 (C2)	0.1632	2.8069
E. DE-PRODUCCIÓN (VERTEDERO) (C3-C4)	4.7215	95.7450
E. DE-PRODUCCIÓN (RECICLAJE) (D)	3.1010	47.4605
Total Producido	72.5959	909.7605

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

4.5.3. ACV Sistema de estructura de Acero

El sistema de estructura metálica o acero es el segundo más utilizado en el país, pero el mismo se encuentra muy por debajo de la estructura de hormigón armado. Primero se calculará los impactos GWP y CED en base a la unidad funcional de kg de Acero, posterior a esto se realiza el análisis del elemento estructural que será un pilar de acero. Es importante entender que el sistema de acero está compuesto únicamente por un material, esto presentara cualidades positivas a la hora de procesos de construcción y reproducción.

4.5.3.1. ACV en relación a unidades de kg de Acero

En la siguiente tabla se presentan los impactos causados por el kg de sistema de Acero (Tabla 36).

Tabla 36. Resultados de cálculo EICV de kg de Acero

ACV de Sistema Estructural de Acero (Kg)		
Sistema C.	GWP (kg CO₂eq / kg de H.A)	CED (MJ / kg de H.A)
E. PRODUCCIÓN (A1-A3)	1.4854	23.325
E. TRANSPORTE (A 4)	0.0525	0.9027
E. CONS/ DE-CONS (A 5 y C1)	0.0123	0.2009
E. TRANSPORTE 2 (C2)	0.00062	0.0107
E. DE-PRODUCCIÓN (VERTEDERO) (C3-C4)	0.0612	0.9641
E. DE-PRODUCCIÓN (RECICLAJE) (D)	0.0572	0.8656
Total Producido	1.6121	25.4044

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

4.5.3.2. ACV de unidad funcional de pilar de Acero

Para el análisis se plantea como unidad funcional un pilar de Acero, el cual cuenta con una sección 20cm x 10cm y una altura de 257 cm; el pilar está compuesto por dos perfiles soldados tipo G de 3 mm de grosor. Para la proyección técnica del pilar se realizó una adaptación de las características del pilar de hormigón de la vivienda social para poder realizar una comparación, no obstante se planteó una sección superior a la mínima permitida para pilares de acero que sería de 10cm x 15cm. Todas las características y datos técnicos del pilar cumplen con la norma NEC-11. En la siguiente tabla se presentan los impactos causados por el pilar de Acero (Tabla 37). El proceso de cálculo y evaluación se lo puede ver en el Anexo 3 (Anexo 3).

Tabla 37. Resultados de cálculo EICV de Pilar de Acero

ACV de Sistema Estructural de Acero, (Pilar de 20x10x257cm)		
Sistema C.	GWP (kg CO₂eq)	CED (MJ)
E. PRODUCCIÓN (A1-A3)	55.8064	876.3495
E. TRANSPORTE (A 4)	1.9730	33.9163
E. CONS/ DE-CONS (A 5 y C1)	0.4898	7.9668
E. TRANSPORTE 2 (C2)	0.0235	0.4047
E. DE-PRODUCCIÓN (VERTEDERO) (C3-C4)	2.3007	36.223
E. DE-PRODUCCIÓN (RECICLAJE) (D)	2.1499	32.522
Total Producido	60.5936	954.8608

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

4.5.4. Presentación e interpretación del ACV de sistemas estructurales

Se presenta los resultados del análisis en manera de gráficas de barras que nos permitan comparar los impactos de cada sistema. También se realiza una interpretación en base a un análisis comparativo de los sistemas constructivos estructurales, esto con la finalidad de poder concluir con estrategias que permitan un desarrollo sostenible y de menor impacto.

4.5.4.1. Análisis comparativo por unidad funcional de (kg)

En los resultados mostrados en gráficas (Figura 48 y 49) podemos notar que el kg de acero produce mayor impacto GWP y CED que el kg de hormigón armado, esto nos diría que aparentemente el hormigón armado es un sistema ambientalmente más eficiente que el acero, no obstante el análisis por unidad funcional de kg debe ser comprobado también con el análisis del elemento de sistema, en este caso el pilar, para poder llegar a una correcta interpretación. Por lo general los elementos constructivos de hormigón armado son más pesados que los elementos de acero, así que es necesario comparar los datos.

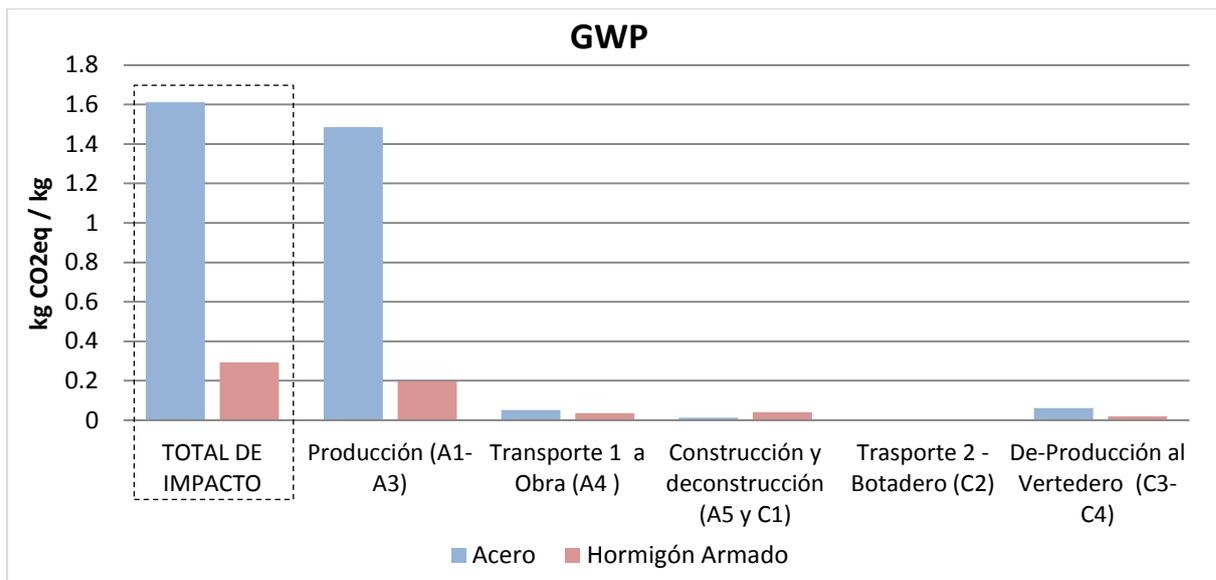


Figura 48. Impactos GWP de sistemas de estructuras por unidad funcional de kg

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

También podemos notar que la etapa de producción es la que mayor impactos causa, siendo la principal etapa contaminante. De igual manera notamos que la etapa de construcción y deconstrucción es la única etapa donde el kg de Acero causa menor impacto que el hormigón.

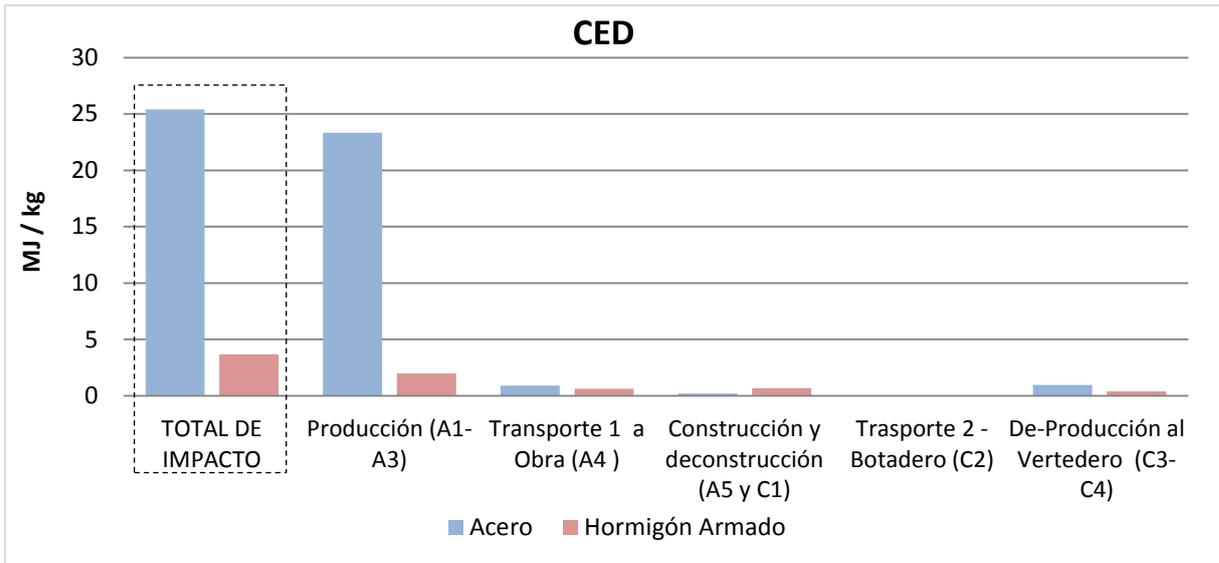


Figura 49. Impactos CED se sistemas de estructuras por unidad funcional de kg
Fuente: El Autor
Elaborado por: El autor

4.5.4.2. Análisis comparativo por unidad funcional de Pilar estructural

Esta comparación nos permite tener una visión más real en cuanto a los impactos causados por los sistemas. Al poder comprar los dos tipos de pilares notamos que en el caso de impactos por GWP sistema de acero es más eficiente ya que emite menor cantidad de kg CO² eq, no obstante en lo que tiene que ver con la etapa de producción notamos que es mayormente contaminante en sistema de acero. En lo que tiene que ver con las demás etapas notamos que el sistema de acero causa mucho menor impacto que el sistema de hormigón armado (Figura 50).

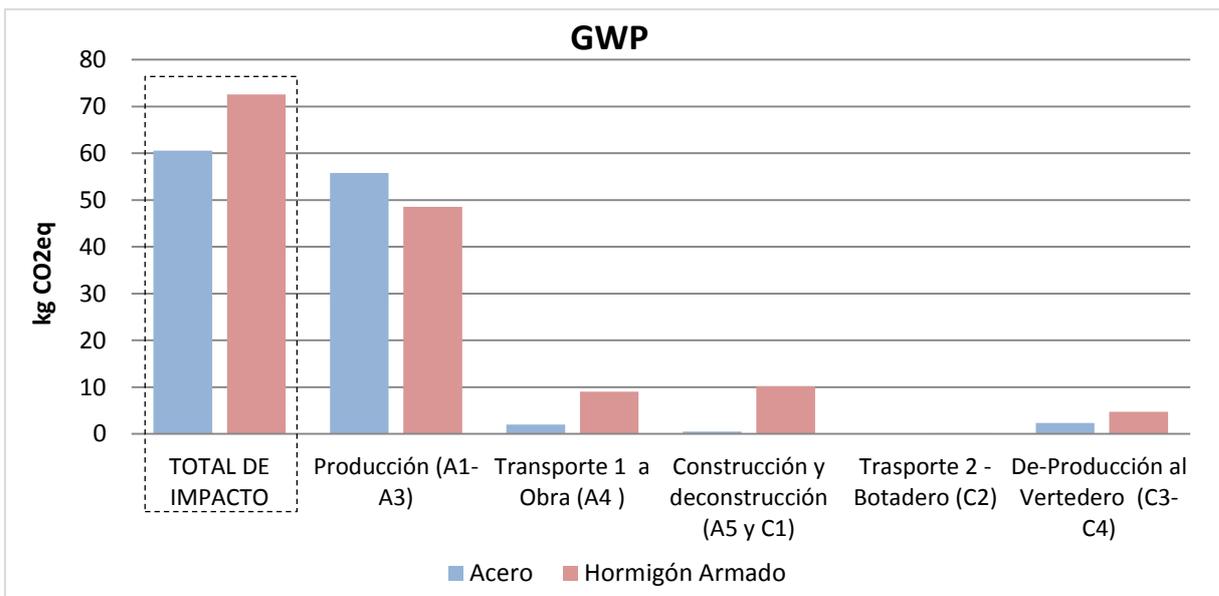


Figura 50. Impactos GWP de sistemas de estructuras por unidad funcional de Pilar
Fuente: El Autor
Elaborado por: El autor

En lo que se refiere al consumo energético CED notamos que el sistema de hormigón armado consume menos energía no obstante es una diferencia mínima no mayor a 50 MJ. Al analizar más puntualmente las etapas notamos que únicamente en la etapa de producción los impactos del sistema de acero son muchos mayores a los impactos del hormigón armado, no obstante en las demás etapas pasa lo contrario (Figura 51).

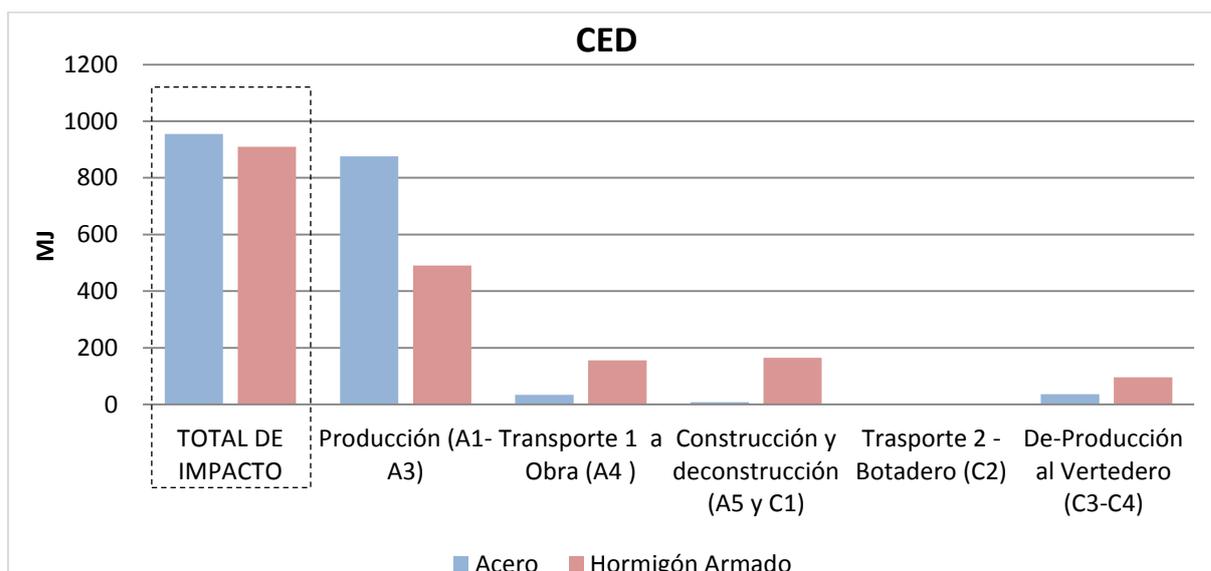


Figura 51. Impactos CED de sistemas de estructuras por unidad funcional de Pilar
 Fuente: El Autor
 Elaborado por: El autor

El sistema constructivo de acero consume más energía que el sistema de hormigón armado, no obstante emite menos CO², esto causaría una problemática al decidir que el sistema es más eficiente. En estos casos podemos afirmar que es preferible que se tenga un mayor consumo de energía a una mayor emisión de CO², esto debido a la matriz energética del Ecuador. El Ecuador es un país que actualmente se encuentra en un proceso de cambio de matriz energética, aproximadamente el 73% de la energía producida en el Ecuador es renovable (ARCONEL, 2018).

La estructura de acero al ser un sistema liviano y de construcción en seco causa menor impacto en las etapas de transporte, construcción, desconstrucción y de-producción comparado con el sistema de hormigón armado al ser más pesado. Otra cualidad que favorece a la estructura de acero es que es casi 100% reciclable (Gonçalves, 2016).

En base a este análisis podemos asumir que el sistema de estructura de acero es ambientalmente más eficiente que el sistema de Hormigón Armado.

También se realiza un análisis comparativos entre la masa de los pilares y su impactos, esto nos demuestra que el peso de los sistemas también influyen proporcionalmente en las emisiones de GWP de estos sistemas (Figura 52).

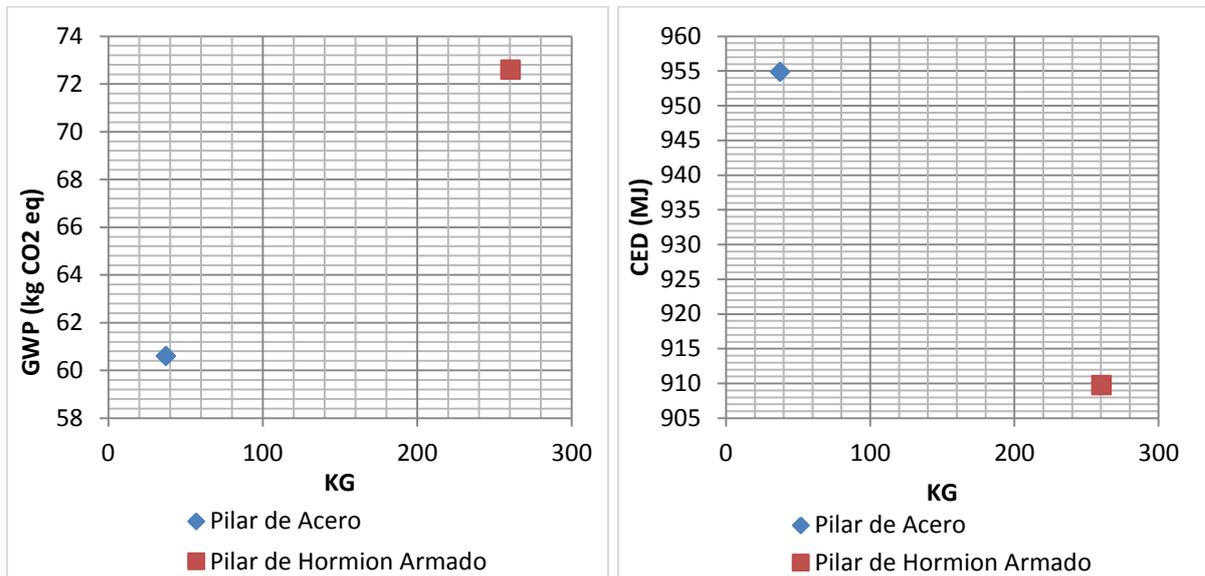


Figura 52. Relación GWP y CED con la masa del sistema de estructura.

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

4.6. Análisis de Sistemas de Envolventes y Particiones

Se plantea analizar los tres sistemas de envolventes y pariciones:

- Ladrillo de arcilla
- Bloque de Hormigón
- Gypsum

Para el desarrollo del análisis se usará como unidad funcional el m² de pared, esta unidad permite comparar los sistemas constructivos. Para obtener los datos técnicos de los sistemas de envolventes nos basamos en fichas técnicas, bibliografía existente, en el análisis de Vivienda tipo Ciudad Alegría y norma ecuatoriana de la Construcción NEC-11.

4.6.1. Objetivos y alcance

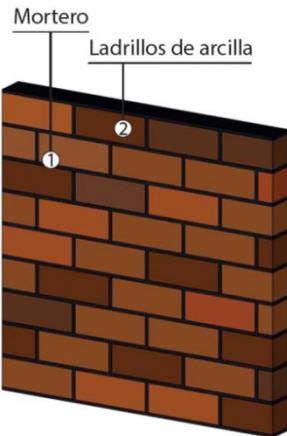
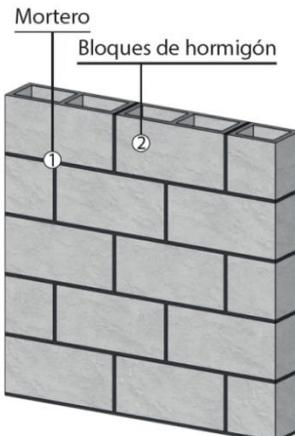
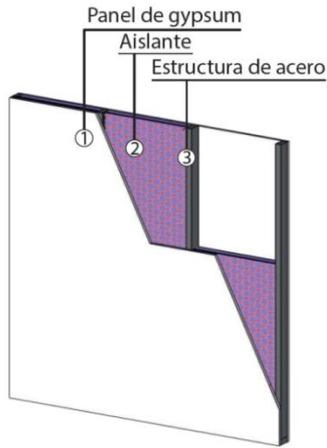
Al usar como unidad funcional el 1 m² de pared nos permitirá realizar una comparación más puntual y con esto podremos definir cuál es el sistema de envolvente ambientalmente más eficiente. De igual manera podremos decir cuál de estos sistemas deberían ser considerados para ser empleado para envolvente externas y particiones internas. Cabe recalcar que los sistemas de bloque de hormigón y ladrillo de arcilla son los más usados para la realización de envolventes y particiones, por otra parte el sistema de Gypsum es muy poco utilizadas en la ciudad.

4.6.2. Inventario de Ciclo de Vida

En la siguiente tabla se presenta el inventario de los datos técnicos de los sistemas de envolvente y particiones que se analizarán (Tabla 38).

Tabla 38. Datos técnicos de sistemas de envolventes de ladrillo, bloque de hormigón y gypsum

ACV DE SISTEMAS DE ENVOLVENTES Y PARTICIONES					
Ladrillo de arcilla (Uso 68,9%)		Bloque Hormigón (Uso 68,9%)		Gypsum (Uso 0,31%)	
Área:	1 m ²	Área:	1 m ²	Área:	1 m ²
Espesor:	8 cm	Espesor:	10 cm	Espesor:	8.5 cm
Peso:	90.81kg	Peso:	105.88kg	Peso:	11.38 kg

					
Componentes		Componentes		Componentes	
M. Ladrillo de arcilla	33.42 u 23 x 10 x 8 cm	M. Bloque de Hormigón	11.76 u 20 x 40 x 10 cm	Panel Gypsum carton yeso	E: 12.7mm 2 m ²
Mortero de Cemento	0.0185 m ³	Mortero de Cemento	5.92 (10 ⁻³) m ³	Estructura Acero galvanizado	0.45kg/m
				Aislante Lana de roca	0.064m ³
ICV		ICV		ICV	
Unidad Funcional:	(1 m ²) de Pared	Unidad Funcional:	(1 m ²) de Pared	Unidad Funcional:	(1 m ²) de Pared
Ladrillo de arcilla	56.81 kg	Bloque de hormigón	94.08 kg	Panel Gypsum carton yeso	4.93 kg
Mortero de Cemento	34 kg	Mortero de Cemento	11.8 kg	Estructura Acero galvanizado	1.35 kg
				Aislante Lana de roca	5.1 kg

Fuente: Norma ecuatoriana de la Construcción NEC-11

Elaborado por: El Autor

El inventario de impactos es de la base de datos Ecoinvent v.2. En la siguiente tabla se muestra los principales impactos previamente calculados y usados para el análisis (Tabla 39)

Tabla 39. ICV de impactos de base de datos Ecoinvent para ACV de sistemas de envolventes

ETAPA	Item	Proceso ECOINVENT	Unidad	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)
Producción (A1-A3)	495	Brick, at plant	kg	0.24845	2.83811
	537	Cement mortar, at plant	kg	0.20025	1.5178
	506	Concrete block, at plant	kg	0.12203	0.8453
	1165	Hot rolling, steel	kg	0.97906	5.135
	1000	Rock wool, at plant	kg	1.4609	22.634
	517	Gypsum plaster board, at plant	kg	0.35341	6.053051
Transporte (A4 y C2)	1944	Transport, lorry :32t, feet average	t km	0.13638	2.3624
	1943	Transport, lorry :16t, feet average	t km	0.12534	2.1545
	1968	transport, transoceanic freight ship	t km	0.0107	0.1697
Construcción y deconstrucción (A5 y C1)	559	diesel, burned in building machine	MJ	0.09141	1.386135
	698	Electricity mix	Kwh	0.49853	10.391
De-producción (C3 - C4 - D)	2005	disposal, building, brick, to final disposal	kg	0.01397	0.307938
	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156
	2007	disposal, building, concrete and mortar, to final disposal	kg	0.01397	0.307938
	2123	disposal, building, mineral wool, to final disposal	kg	0.00997	0.247507
	2132	disposal, building, plaster board, gypsum plaster, final disposal	kg	0.01325	0.29715
	2142	disposal, building, brick, to recycling	kg	0.0032	0.0496
	2148	disposal, building, concrete, not reinforced, to recycling	kg	0.0039	0.00399
	2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	kg	0.0572	0.86563
	2075	disposal, mineral wool, 0% water, to inert material landfill	kg	0.0070	0.19852
	2151	disposal, building, plaster board, gypsum plaster, to recycling	kg	0.0032	0.0496

Fuente: Ecoinvent 2.0

Elaborado por: El Autor

4.6.3. ACV Sistema de Ladrillo de Arcilla (m²)

El sistema de ladrillo junto al sistema de bloques de hormigón es uno de los más utilizado en el país para el desarrollo de envolventes. En este análisis se calcula los impactos GWP y CED producido por un m² de pared de ladrillo. La tabla a continuación muestra el análisis en base a unidad de m² (Tabla 40). El proceso de cálculo y evaluación se lo puede ver en el Anexo 8 (Anexo 8)

Tabla 40. Resultados de cálculo EICV de m² de muro de ladrillo de arcilla

ACV de Sistema Envoltente de Ladrillo de Arcilla (m ²)		
Sistema C.	GWP (kg CO ₂ eq/m ²)	CED (MJ/m ²)
E. PRODUCCIÓN (A1-A3)	20.0157	212.8512
E. TRANSPORTE (A 4)	1.3756	23.7985
E. CONS/ DE-CONS (A 5 y C1)	7.7106	125.4282
E. TRANSPORTE 2 (C2)	0.0569	0.9783
E. DE-PRODUCCIÓN (VERTEDERO) (C3-C4)	1.2281	27.3525
E. DE-PRODUCCIÓN (RECICLAJE) (D)	0.3222	4.8750
Total Producido	30.3871	390.4089

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

4.6.4. ACV Sistema de Bloque de Hormigón (m²)

El sistema de Bloques de Hormigón es uno de los más utilizado en el país para el desarrollo de envolventes, actualmente superando al ladrillo. Cabe mencionar que el sistema de bloque que se plantea es el mismo sistema utilizado en la vivienda tipo Ciudad Alegría. La tabla a continuación muestra el análisis realizado (Tabla 41).

Tabla 41. Resultados de cálculo EICV de m2 de muro de bloque de hormigón

ACV de Sistema Envolvente de Bloque de Hormigón (m2)		
Sistema C.	GWP (kg CO2eq/m2)	CED (MJ/m2)
E. PRODUCCIÓN (A1-A3)	13.7255	97.4448
E. TRANSPORTE (A 4)	0.4430	7.6683
E. CONS/ DE-CONS (A 5 y C1)	9.6988	157.7714
E. TRANSPORTE 2 (C2)	0.0663	1.1406
E. DE-PRODUCCIÓN (VERTEDERO) (C3-C4)	1.4791	32.6044
E. DE-PRODUCCIÓN (RECICLAJE) (D)	0.4229	6.3982
Total Producido	25.4129	296.6297

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

4.6.5. ACV Sistema de Gypsum (m²)

El sistema de gypsum no es tan utilizado como los otros sistemas anteriores, y tampoco cuenta con una gran demanda en la ciudad. En su mayoría es utilizado para particiones internas evitando exponerlo a la intemperie directamente. El gypsum es un sistema muy liviano y de construcción seca, está compuesto por paneles de cartón yeso, estructura de acero galvanizado y aislante interno. La tabla a continuación muestra el análisis realizado al m² de Gypsum (Tabla 42).

Tabla 42. Resultados de cálculo EICV de Pilar de m2 de muro de Gypsum

ACV de Sistema Envolvente de Gypsum (m2)		
Sistema C.	GWP (kg CO2eq/m2)	CED (MJ/m2)
E. PRODUCCIÓN (A1-A3)	10.514	152.2
E. TRANSPORTE (A 4)	1.889	32.105
E. CONS/ DE-CONS (A 5 y C1)	6.798	110.59
E. TRANSPORTE 2 (C2)	0.0071	0.122
E. DE-PRODUCCIÓN (VERTEDERO) (C3-C4)	0.198	4.028
E. DE-PRODUCCIÓN (RECICLAJE) (D)	0.1295	2.4258
Total Producido	19.2101	295.0367

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor

Cabe mencionar que a diferencia de los otros sistemas el gypsum es importado en su totalidad principalmente de México. Al ser un sistema importado implica un aumento en las distancias de transporte al lugar de obra, la distancia recorrida sería 3759 km, una distancia mucho mayor si la compramos con las distancias que recorren los materiales implicados en los sistemas de Bloques de Hormigón y Ladrillo.

4.6.1. Presentación e interpretación del ACV de sistemas estructurales

Se presenta los resultados del análisis en manera de gráficas de barras que nos permitan comparar los impactos de cada sistema. También se realiza una interpretación en base a un análisis comparativo de los sistemas de envolvente y particiones, esto con la finalidad de poder concluir y desarrollar estrategias que permitan un desarrollo sostenible.

4.6.1.1. Análisis comparativo por unidad funcional de m²

Al comparar los resultados de impactos de los tres tipos de sistemas de envolventes y pariciones podemos notar que el sistema de Gypsum es el de menor impacto, por otra parte el sistema de ladrillo artesanal es que mayor impacto causa tanto en GWP y CED (Figura 53).

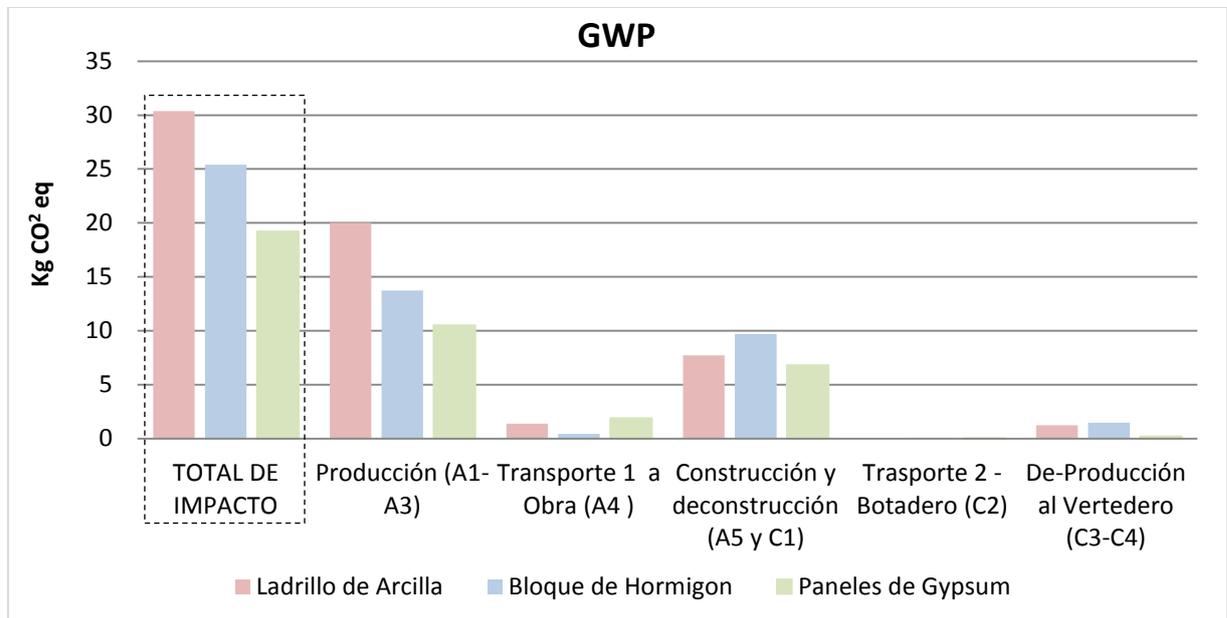


Figura 53. Comparación de Impactos GWP por m² de sistema de envolvente y particiones

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

El sistema gypsum emite en total menos kg CO² eq que el sistema de ladrillo y bloque de hormigón, esto es igual en casi todas las etapas del análisis de GWP no obstante en la etapa de transporte a obra el gypsum es el más contaminante, esto se debería a que el gypsum por ser un sistema importado recorre mayor distancia. Si bien las el impacto

causado por transporte es superior tampoco existe una mayor diferencia, esto se debe a que el sistema de gypsum es muy liviano en comparación a los otros sistemas, por lo tanto se puede importar mayor volumen de material sin causar un impacto drástico. El gypsum al ser un sistema liviano y de fácil montaje y desmontaje también presenta ventajas en las etapas de construcción y deconstrucción, y por otra parte también al ser un sistema 100% reciclable presenta una considerable ventaja en de-producción, frente a los sistemas de ladrillo y bloque que son menos reciclables. En los impactos CED podemos notar que el gypsum está casi a la par de consumo energético que el bloque de hormigón (Figura 54).

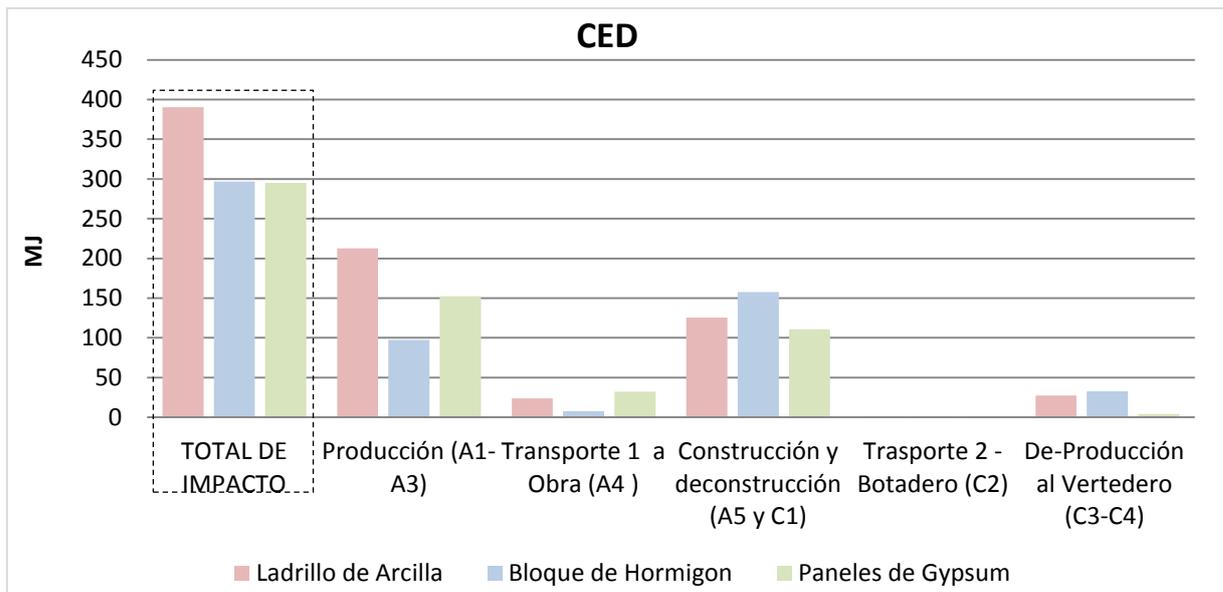


Figura 54. Comparación de Impactos CED por m2 de sistema de envolvente y particiones
Fuente: El Autor
Elaborado por: El autor

Por otra parte el sistema de bloques de hormigón es el segundo que más impactos causa, no obstante se encuentra por debajo del sistema de ladrillo de arcilla. El sistema de bloques tiene ventaja sobre el sistema de ladrillos en las etapas de producción y transporte no obstante el sistema de ladrillo implica una menor fuerza de trabajo debido a que las unidades de mampostería son más livianas; igualmente en la etapa de de-producción por vertedero es menos contaminante. El sistema de bloques tendría ventaja sobre el sistema de ladrillos en el proceso de reciclaje ya que el bloque puede ser reciclado en un 50% generando un 50% de residuo inservible y el ladrillo de arcilla tan solo en un 10% (Morocho, 2017).

También se realiza un análisis comparativos entre la masa de m2 de muro de cada sistema, esto nos demuestra que el peso de los sistemas también influyen en los impactos GWP y CED de estos sistemas, este es el caso del Gypsum al ser un sistema liviano (Figura 55).

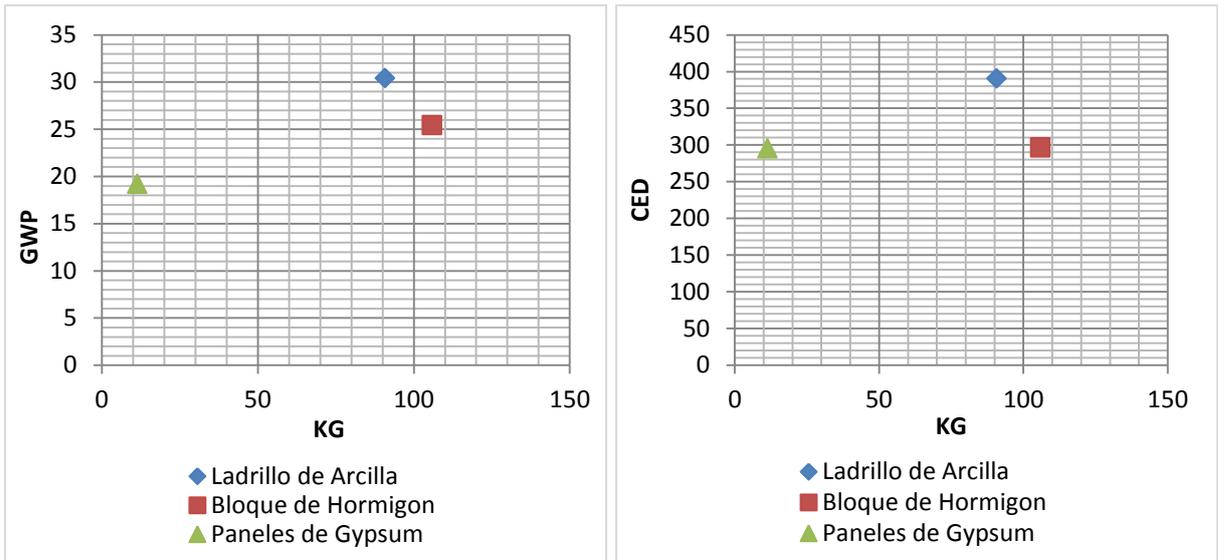


Figura 55. Relación GWP Y CED con la masa del sistema de envolventes y particiones

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

El análisis nos hace concluir que el sistema de gypsum es ambientalmente el más eficiente, de igual manera también el sistema de Bloques es más eficiente que el sistema de ladrillo, y puede ser utilizado para envolventes externas.

4.7. Resultado de comparación de de-producción de sistemas por vertido o reciclaje

En las siguientes graficas se muestran cuáles son los impactos causados por los dos tipos de de-producción, la de vertido y la de reciclaje (Figura 56).

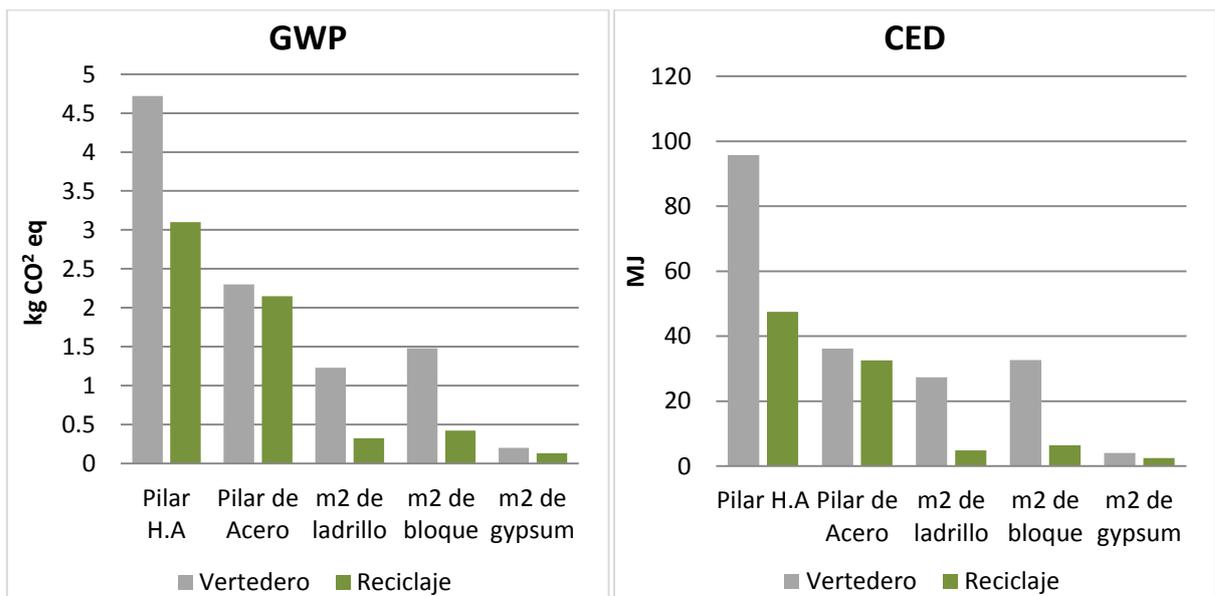


Figura 56. Impactos GWP y CED (C2-C3 vs D)

Fuente: El Autor

Elaborado por: El autor

El reciclaje de residuos de construcción aún no se es proceso establecido en la ciudad de Loja, por lo general los escombros son vertidos en botaderos o escombreras, no obstante en el análisis podemos notar que el proceso de reciclaje es ambientalmente más eficiente que el vertido. Cabe mencionar que pese a que todos los sistemas productivos pueden ser de-producidos mediante reciclaje no todos los sistemas son 100% reciclables. En el caso el sistema de gypsum es 100% reciclable y el sistema de estructura de acero igualmente es casi 100% reciclable, por otra parte el sistema de hormigón armado es medianamente reciclable, el bloque de hormigón es 50% y el sistema de mampostería de ladrillo es el menos reciclable generando un 90% de residuos y tan solo 10% de reciclaje (Morocho, 2017).

4.8. Conclusiones de ACV a sistemas constructivos

En base a todo el análisis realizado de los diferentes sistemas podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- En estructuras, el kg de Hormigón Armado produce menos impactos que el kg de Acero. Pero al analizar un elemento constructivo como lo es un pilar estructural, notamos que el acero es ambientalmente más eficiente que el hormigón armado.
- La producción de acero es más contaminante que la producción de Hormigón Armado, no obstante en las etapas de transporte, construcción, deconstrucción y de-producción es notablemente más favorable la estructura de acero, teniendo como otra característica el ser un sistema liviano y mayormente reciclable.
- En cuanto a envolvente y particiones, el sistema ambientalmente más eficiente es el sistema de Gypsum, seguido por el sistema de Bloques de hormigón, y el más contaminante es el sistema de ladrillos de arcilla.
- La masa de los sistemas constructivos afecta tanto en los impactos causados, puntualmente en los procesos de transporte como de construcción, deconstrucción y de-producción. El Gypsum, a pesar de ser importado de México, su impacto de transporte no aumenta drásticamente debido a la poca masa del sistema constructivo.
- La de-producción por reciclaje es una opción más eficiente que la de producción por vertido.

CAPÍTULO V
INTERPRETACIÓN FINAL DEL ACV DE LA VIVIENDA TIPO CIUDAD ALEGRÍA Y LOS
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE ESTRUCTURA Y ENVOLVENTES

5.1. Introducción capitular

Después de realizar el ACV de la vivienda social tipo Ciudad Alegría y de los principales sistemas constructivos de estructura, envolventes y particiones, y de interpretar los resultados obtenidos, se procede a realizar una interpretación general de los ACV realizados.

Esta interpretación general nos permitirá llegar a conclusión, recomendaciones y estrategias que puedan ser usadas para la disminución de los impactos ambientales en los futuros proyectos de vivienda de la ciudad de Loja.

5.2. Interpretación global de ACV

En base a todo el análisis realizado podemos concluir:

- Es necesario buscar la manera de disminuir los impactos de las viviendas de carácter social, más aun cuando estas serán edificadas en masa. En este caso los impactos de la vivienda tipo aumenta en relación al número de viviendas.
- La etapa de producción de materia de construcción es la etapa mayormente contaminante, esto debido a los procesos que implica. Muchos de los materiales son producidos sin normas ambientales, y muchos de estos materiales son los mayormente demandados.
- La mayoría de casos en el proceso de diseño de las edificaciones no se considera criterios de impactos en el momento de seleccionar los sistemas y materiales de construcción.
- Existe una relación proporcional entre la masa de los sistemas constructivos, sus materiales y el impacto que causa. Se parecía que los sistemas de construcción pesados causan mayor impacto que los sistemas livianos.
- La utilización de un único material para el desarrollo de todos los elementos constructivos de un sistema puede perjudicar y causar más impactos que pueden ser controlados. En el caso de las envolventes no es necesario la utilización de del mismo material para las envolventes externas que para las particiones internas.

- Los sistemas livianos son positivos en las etapas de transporte construcción, destrucción y reproducción. Ya que la masa de estos materiales influye directamente en los impactos causado.
- La de-producción por reciclaje es una opción más eficiente que la de producción por vertido, no obstante los procesos de reciclaje de escombros de obras aún no son aplicados en la ciudad. De igual manera la selección de materiales mayormente reciclable permite el desarrollo de nueva materia prima disminuyendo el impacto de producción futuros.

5.3. Recomendaciones y Estrategias

En base a los análisis realizados y a las interpretaciones del mismo propondremos una serie de recomendaciones y estrategias para disminuir los impactos futuros.

- Para poder disminuir los impactos ambientales de las edificaciones es necesario aplicar el ACV en el proceso de diseño de la edificación. Queda claro que es una metodología muy útil y que puede ser simplificada para poder aplicarla sin mayor complejidad.
- Es necesario buscar y seleccionar materiales con licencias de producción amigable y reciclable, esto para disminuir los impactos de la etapa de producción. De igual manera se debe considera criterios de impactos en el momento de seleccionar los sistemas y materiales de construcción.
- Debido a la notable relación entre el masa de los sistemas constructivos, y su impacto ambiental y consumo energético, se debe considerar el uso de materiales livianos, como ejemplo, los sistemas óptimos y eficientes según el análisis son:

- Estructura = Acero.

(Es un material liviano, resistente y reciclable.)

- Envolvente externa = Bloque de Hormigón

(No obstante para que el mismo debería ser revertido, esto debido a que es un material térmicamente ineficiente.)

Particiones internas = Gypsum

Teniendo a su favor ser 100% reciclable (Goncalvez, 2016)

- Se puede utilizar sistemas constructivos y materiales diferentes para una misma obra, basándonos en las características técnicas necesarias. No es necesario aplicar el mismo material en todos los elementos del sistema.
- Se puede utilizar sistemas constructivos del sitio siempre y cuando cumplan las normas técnicas necesarias, esto no causaría un mayor impacto y también ayudaría a no emitir mayor cantidad de impactos por transporte.
- Se debe buscar la manera de plantear una de-producción mediante reciclaje, ya que este proceso es mayormente eficiente en comparación al sistema de vertido usado normalmente.

CONCLUSIONES

- El crecimiento de la huella urbana o construida está ligada a la edificación tipo vivienda, y a su vez la vivienda al aumento de impactos ambientales a nivel local y mundial, como lo es el calentamiento global. Así que es necesario y urgente buscar la manera de disminuir los impactos ambientales causados por las viviendas y en especial las viviendas de proyectos de interés social y en masa.
- La vivienda social presenta un problema de semiótica. El término “Vivienda social” al no contar con un solo concepto normalizado y formal, puede ser interpretado de diferentes maneras, esto causa que las personas encargadas de desarrollar la vivienda se basen en ideas abstractas mas no en una concepción clara de lo que es una vivienda y que características debería cumplir, por lo general se asocia el término a “Vivienda Económica” y no al termino correcto “Vivienda Adecuada”. Este problema de concepción conlleva a que se desarrolle la vivienda en relación al costo de su construcción mas no en un enfoque sostenible ni ambiental adecuado.
- Los sistemas constructivos industrializados de mayor masa son mayormente contaminantes por ende una vivienda de sistemas constructivos pesados emitirá más CO₂ y consumirá más energía que una vivienda de sistemas livianos, por ende para el diseño y desarrollo de una vivienda o proyecto habitacional social es necesario considerar las cualidades ambientales de los materiales y su peso o masa, de igual manera es necesario considerar otros sistemas constructivos de menor impacto a los sistemas constructivos tradicionales o más demandados.
- La de-producción por reciclaje es más eficiente que el vertido así que es necesario empezar a aplicar procesos de reciclaje de residuo de obra y también impulsar el uso de materiales mayormente reciclables.
- El ACV es la herramienta de evaluación y desarrollo sostenible actualmente más eficiente, importante, y que más se proyecta hacia el futuro, ya que está en constante desarrollo. La problemática ambiental, social y económica del sector de la construcción y arquitectura ha llevado a que esta metodología sea cada vez más aplicada; en un futuro su aplicación podría ser obligatoria para el desarrollo de proyectos edificatorios ya que el ACV nos permite interpretar y entender los problemas ambientales e impactos de la edificación construida o por construir y nos ayuda a plantear estrategias para disminuir estos impactos negativos.

RECOMENDACIONES

- Se puede llegar a una simplificación de la metodología ACV que permita un desarrollo menos complejo e igualmente de efectivo, esto permitiría el análisis de proyectos arquitectónicos complejos, como también de proyectos urbanos. .
- Se recomienda el uso de una metodología simplificada del ACV, para aplicar el enfoque de ciclo de vida en el procesado de diseño las edificaciones y proyectos constructivos.
- Si se plantea el diseño de una edificación sostenible, es necesario aplicar el análisis de ciclo de vida para poder abarcar el aspecto ambiental, no obstante se lo deberá acompañar también con un análisis de costo de ciclo de vida y un análisis social de ciclo de vida.
- Para trabajos futuros sería óptimo que se plantee el desarrollo de una base de datos de impactos ambientales de materiales y procesos constructivos, no obstante dicha base de datos debe tener una relación puntual y global, cumpliendo los estándares internacionales de recolección y manejo de datos ambientales.
- El manejo del ACV acompañado de la metodología BIM, es más exacta y sencilla de realizar, permitiendo un poseso metodológico más favorable a la hora de analizar como de proyectar.
- Se recomienda que se plantee un análisis de sostenibilidad más profundo de la vivienda de carácter social, como fue demostrado esta vivienda puede ser causante de grandes impactos a nivel ambiental, social y económico así que es necesario plantear más estudios que permitan proponer formas de alcanzar un desarrollo sostenible de la vivienda social.

BIBLIOGRAFIA:

LIBROS:

- Bacon, M. (2001) *Le Corbusier in America: Travels in the Land of the Timid*. The MIT. Cambridge, Massachusetts, USA
- Edwards, B. (2009) *Guía Básica de la Sostenibilidad*. Gustavo Gili, Barcelona
- Simonen, K. (2014). *Life cycle assessment*. PocketArchitecture. Routledge
- Zabalza, I; Aranda, U (2013) *Ecodiseño en la edificación*. Universidad de Zaragoza, España.

ARTÍCULOS:

- Babaizadeh, H., Haghghi, N., Asadi, S., Broun, R., Riley, D., 2015. Life cycle assessment of exterior window shadings in residential buildings in different climate zones. *Build. Environ.* 90, 168–177. doi:10.1016/j.buildenv.2015.03.038
- Basbagill, J., Flager, F. (2013). Application of LCA to early stage building design for reduced embodied environmental impacts, *Build. Environ.* (60):81-92. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>.
- Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., Fischer, M., 2013. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Build. Environ.* 60, 81–92. doi:10.1016/j.buildenv.2012.11.009
- Castellano, J., Ribera, A. (2016). Integrated system approach to evaluate social, environmental and economic impacts of buildings for users of housings, *Energy and Buildings*, 123,106 –118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.046>.
- Chou, J. K. Yeh. (2015) Life cycle carbon dioxide emissions simulation and environmental cost analysis for building construction. *Journal of Cleaner Production*, 5 (101):137.147. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.04.001
- Cuéllar-Franca, R.M., Azapagic, A., 2012. Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses. *Build. Environ.* 54, 86–99. doi:10.1016/j.buildenv.2012.02.005
- Dahlstrom, O., Sornes, K., Eriksen, S.T., Hertwich, E.G., 2012. Life cycle assessment of a single-family residence built to either conventional- or passive house standard. *Energy Build.* 54, 470–479. doi:10.1016/j.enbuild.2012.07.029
- Evangelista, Patricia & Kiperstok, Asher & A. Torres, Ednildo & P. Gonçalves, Jardel. (2018). Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life

cycle assessment. *Construction and Building Materials*. 169. 748-761. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.045

- Fouquet, M., Levasseur, A., Margni, M., Lebert, A., Lasvaux, S., Souyri, B., Buhé, C., Woloszyn, M., (2015). Methodological challenges and developments in LCA of low energy buildings: Application to biogenic carbon and global warming assessment. *Build. Environ.* 90, 51–59. doi:10.1016/j.buildenv.2015.03.022
- García, F; Armengot, J; Ramírez, G. (2015). El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión. *Informes de la Construcción*, 67(537): e056, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.119>.
- Goncalves de, J. (2016) Evaluación de ciclo de vida de materiales de edificaciones: estudio de caso en complejo de viviendas. *Revista de la Construcción* (15): 69.77. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2016000200007>
- Guinée, J. (2011) Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future, *Environ. Sci. Technol.* 45: 90.96, doi: 10.1021/es101316v
- Guinée, J. (2016) Life Cycle Sustainability Assessment: What Is It and What Are Its Challenges?, *Taking Stock of Industrial Ecology*. Springer, Cham. 1: 45.68, Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7_3
- Hanandeh, A. El, 2015. Environmental assessment of popular single-family house construction alternatives in Jordan. *Build. Environ.* 92, 192–199. doi:10.1016/j.buildenv.2015.04.032
- He, Z., Xu, S., Shen, W., Long, R., Chen, H. (2017). Impact of urbanization on energy related CO2 emission at different development levels: Regional difference in China based on panel estimation. *Journal of Cleaner Production*, (140): 1719-1730. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.155>
- Heijungs, R., Huppes, G., Guinée, J. (2010). Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. *Polymer Degradation and Stability*. (95): 422-428. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2009.11.010>.
- Houlihan Wiberg, A., Georges, L., Dokka, T. H., Haase, M., Time, B., Lien, A. G., Maltha, M. (2014). A net zero emission concept analysis of a single-family house. *Energy and Buildings*, 74, 101–110. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.037>
- Iddon, C.R., Firth, S.K., 2013. Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK. *Energy Build.* 67, 479–488. doi:10.1016/j.enbuild.2013.08.041
- Islam, H., Jollands, M., Setunge, S., Ahmed, I., Haque, N., 2014. Life Cycle Assessment

and Life Cycle Cost Implications of Wall Assemblages Designs. *Energy Build.* 84, 33–45. doi:10.1016/j.enbuild.2014.07.041

- Lewandowska, A., Noskowiak, A., Pajchrowski, G., 2013. Comparative life cycle assessment of passive and traditional residential buildings' use with a special focus on energy-related aspects. *Energy Build.* 67, 635–646. doi:10.1016/j.enbuild.2013.09.002
- Lotteau, M. Loubet, P. (2015) Critical review of LCA for the built environment at the neighborhood scale. *Build. Environ.*(93):165-178. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.06.029
- Malmqvist, T., Glauman, M., Zabalza, I. (2011). LCA in buildings: the ENSLIC simplified method, *J. Energy* (36): 1900-1907. doi:10.1016/j.energy.2010.03.026.
- Momete, D, (2014) Saferational approach to a valid sustainable development. *Procedia Economics and Finance*, 8: 497-504. doi: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00119-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00119-1)
- Monteiro, H., Freire, F., 2012. Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods. *Energy Build.* 47, 572–583. doi:10.1016/j.enbuild.2011.12.032
- Mosteiro-Romero, M., Krogmann, U., Wallbaum, H., Ostermeyer, Y., Senick, J.S., Andrews, C.J., 2014. Relative importance of electricity sources and construction practices in residential buildings: A Swiss-US comparison of energy related life-cycle impacts. *Energy Build.* 68, 620–631. doi:10.1016/j.enbuild.2013.09.046
- Motuziene, V., Rogoža, A., Lapinskiene, V., Vilutiene, T., 2016. Construction solutions for energy efficient single-family house based on its life cycle multi-criteria analysis: a case study. *J. Clean. Prod.* 112, 532–541. doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.103
- Ortiz-Rodríguez, O; Castells F.; Sonnemann G. (2010) Life cycle assessment of two dwellings: One in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under development. *Science of the Total Environment* 408 2435–2443. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.02.021
- Oviir, A. (2016) Life Cycle Assessment (LCA) in the Framework of the Next Generation Estonian Building Standard Building Certification as a Strategy for Enhancing Sustainability, *Energy Procedia* 96: 351-362, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.159>
- Oyarzo, J., Peuportier, B., 2014. Life cycle assessment model applied to housing in Chile. *J. Clean. Prod.* 69, 109–116. doi:10.1016/j.jclepro.2014.01.090
- Peuportier, B., Thiers, S., Guiavarch, A., 2013. Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 39, 73–78. doi:10.1016/j.jclepro.2012.08.041
- Proietti, S., Sdringola, P., Desideri, U., Zepparelli, F., Masciarelli, F., Castellani, F., 2013. Life Cycle Assessment of a passive house in a seismic temperate zone. *Energy Build.* 64,

463–472. doi:10.1016/j.enbuild.2013.05.013

- Ramachandran, S., Venkiteswaran, K., (2017) Carbon (CO₂) Footprint Reduction Analysis for Buildings through Green Rating Tools in Malaysia, *Energy Procedia*, (105):3648-3655 doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.
- Rees, W., Wackernagel, M. (1996) Urban ecological footprints, Why cities cannot be sustainable and why they, *Environmental Impact Assessment Review* 9255 (96) (1996), pp. 223-248, doi: [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(96\)00022-4](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(96)00022-4)
- Röck, M. Hollberg, A. (2018), LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. *Building and Environment* (140): 153.161, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.006>.
- Rosselló-Batle, B., Ribas, C., Moilà-Pol, A., Martínez-Moll, V., 2015. An assessment of the relationship between embodied and thermal energy demands in dwellings in a Mediterranean climate. *Energy Build.* 109, 230–244. doi:10.1016/j.enbuild.2015.10.007
- Rossi, B., Marique, A.-F.F., Reiter, S., Glaumann, M., Reiter, S., 2012. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. *Build. Environ.* 51, 402–407. doi:10.1016/j.buildenv.2011.11.002
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., García, A. (2016) Simplification in LCA of single-family houses. *Build. Environ.*, (103): 215-227. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.014>
- Souza, R., Rosenhead, J., Salhofer, S.P. (2015) Definition of sustainability impact categories based on stakeholder perspectives. *J. Clean. Prod.*, 105, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.09.051
- Suzer, O. (2018) Analyzing the compliance and correlation of LEED and BREEAM by conducting a criteria-based comparative analysis and evaluating dual-certified projects, *Built. and Environ.* (147): 158-170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.001>
- Wadel, G., Avellaneda, J., Cuchí, A. (2010). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada. *Informes de la construcción*,(62): 37–51. doi: <https://doi.org/10.3989/ic.09.067>
- Wallhagen, M., Glaumann, M., Malmqvist, T., 2011. Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change - Case study on an office building in Sweden. *Build. Environ.* 46, 1863–1871. doi:10.1016/j.buildenv.2011.02.003
- Weissenberger, M. Jensch, W. (2014) The convergence of LCA and zero-energy buildings, *Energy Build.* (76): 551-557. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.028.
- Zabalza, I, (2011) LCA of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts, *Build. Environ.*,(46):1133-1140. doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.
- Zabalza, I., Aranda, A., Scarpellini, S., 2009. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Build.*

BIBLIOGRAFIA ELECTRONICA:

- AGN El Mercurio. 2013. Entrega de viviendas en el proyecto ciudad alegría. Disponible en : <http://www.elmercurio.com.ec/384846-loja-entrega-de-320-departamentos-y-226-casas-en-ciudad-alegria/>
- Cronica. (2018). Loja posee el 27% de déficit viviendístico. Disponible en: <https://www.cronica.com.ec/informacion-2/ciudad/item/21474-loja-posee-el-27-de-deficit-viviendistico>
- Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.. (2002). Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht.
- Haro, C (2014). Federico Mevius - Vivienda social. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=xB2LDCcqbX0>
- Hischer R., Weidema B., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Frischknecht R., Hellweg S., Humbert S., Jungbluth N., Köllner T., Loerincik Y., Margni M. and Nemecek T. (2010) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Mero, I., Herrera, M., Herrera, J., (2018). Influencia de la sostenibilidad en el sector de la construcción en Ecuador sobre el producto interno bruto PIB periodo 2010-2016, Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (Julio 2018). Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/07/construccion-ecuador-pib.html>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador (2012-2025). Disponible en: extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu140074.pdf
- Llanes, E. (2006) Metodología para la determinación de los impactos ambientales en procesos productivos. R. Ciencias Agropecuarias, Vol. 15, No. 3, 2006. Disponible en: www.researchgate.net/publication/295911885_ACV_impactos_ambientales_Llanes
- ONU Habitat (2017). Energía. Disponible en: <https://es.unhabitat.org/temas-urbanos/energia/>
- Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos – SHAH (2015) Informe Nacional del Ecuador sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III. Quito, Ecuador. Disponible en: habitat3.org/wp-content/uploads/National-Report-Ecuador-spanish.pdf

- SuPerbuildings, (2010). Deliverable 2.1 Conclusions about the needs for development of sustainability indicators and assessment methods, s.l.:SuPerBuildings, , Brussels
- Taboada, J. (2018) Alta densidad. Disponible en: <http://jorgetaboada.wixsite.com/jorgetaboada/alta-densidad>
- UNEP-SETAC, (2009). Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. UNEP. Disponible en: www.unep.fr/shared/.../pdf/dtix1164xpa-guidelines_slca.pdf
- UNEP-SETAC, (2011) Towards a life cycle sustainability assessment: marking informed choices on products. Disponible en : <http://hdl.handle.net/20.500.11822/8001>
- VIVEM-EP. (2018) Que es el VIVEM y cuáles son sus proyectos Disponible en. Disponible en: http://www.loja.gob.ec/files/quienes_somos.pdf
- Wallace, T. (2018) A Map of Every Building in America. New York Times. Disponible en: <https://www.nytimes.com/interactive/2018/10/12/us/map-of-every-building-in-the-united-states.html?smid=fb-share>

TESIS:

- Conejero, J. (2017). Análisis de ciclo de vida de la casa Wichita materialidad y proceso constructivo (Tesis maestría) Universidad de Sevilla.
- Cuerda, I. (2016) Incorporación de objetivos de sostenibilidad social en el diseño de proyectos arquitectónicos mediante el enfoque de ciclo de vida (ECV), (Tesis doctoral). Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, España.
- Hernández, J. (2013) Metodología basada en ACV para la evaluación de sostenibilidad en edificios. (Tesis Doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya.
- Maldonado, V (2016). Prototipo de vivienda social sostenible diseño de una vivienda de interés social de clima frío para la ciudad de Cuenca. (Tesis de Grado). Universidad de Cuenca
- Martins, C. (2011). Impacto ambiental de diferentes tipologías de viviendas de interés social en la ciudad de Porto Alegre/Brasil. (Tesis maestría). Universidad Politécnica de Madrid.
- Molinero, M. (2016). Análisis de ciclo de vida de modelos constructivos tradicionales en entornos de clima tropical (Colombia, s. XVI-XIX). (Tesis de Master) Universidad de Sevilla.
- Morocho, D. (2017) Estrategias derivadas del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) para la evaluación del impacto ambiental en materiales de cerramientos y particiones comunes de edificaciones en la ciudad de Loja.(Tesis de grado). UTPL. Loja

- Ormaza, F. (2017). Análisis de ciclo de vida de modelos habitacionales de vivienda unifamiliar en entornos de clima cálido húmedo, Ecuador. (Tesis maestría) Universidad de Sevilla.
- Reyes, M.(2017). Análisis comparativo de sistemas constructivos pesados vs ligeros, mediante herramientas LCA/BIM, en el contexto caribeño. (Tesis maestría) Universidad de Sevilla.
- Rivera. A. (2015). Propuestas para la mejora de la habitabilidad y el impacto ambiental de la Vivienda Social del Conjunto Habitacional “Ciudad Alegría” en Ecuador. (Tesis Maestría). Universitat Politècnica de Catalunya, UPC.
- Rivera. B. (2012). Propuesta metodológica de aplicación sectorial de análisis de ciclo de vida ACV para la evaluación ambiental de la edificación en España (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid.
- Soust-Verdaguer, B (2017). Análisis del Ciclo de Vida de edificios residenciales Propuesta metodológica para el diseño de una herramienta simplificada.(Tesis Doctoral). Universidad de Sevilla.
- Vega, R. (2015). Evaluación de la sostenibilidad de sistemas constructivos industrializados de fachada de vivienda colectiva. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Viola J. (2012) Derivation Of Reliable Simplification Strategies For The Comparative Lca Of Individual And “Typical“ Newly Built Swiss Apartment Buildings. PhD Thesis. ETH ZURICH
- Zabalza,I, (2011). Adaptación de la metodología de análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España, (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza, España.

NORMAS:

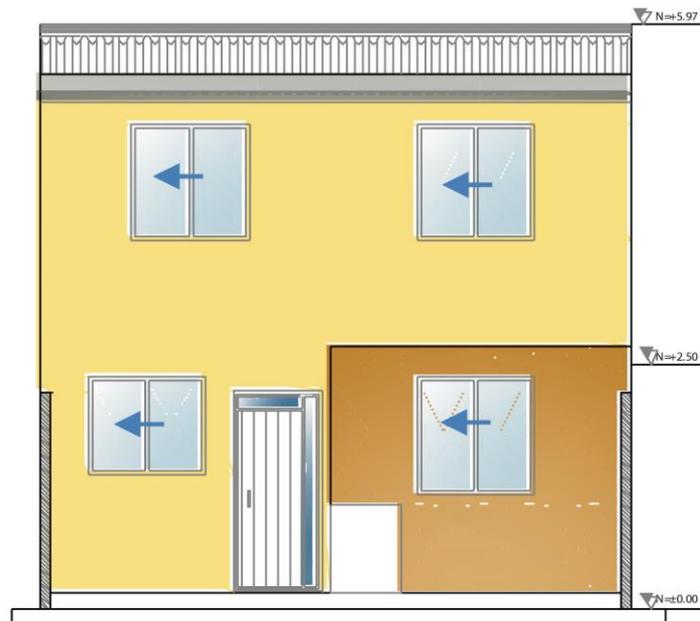
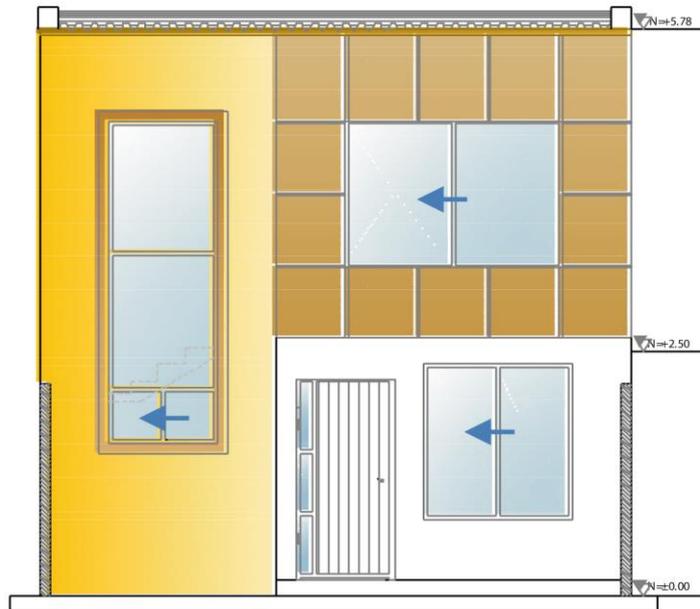
- Norma ISO 14040: “Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y Estructura”, 1997.
- Norma ISO 14041 titulada “Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis del inventario”, 1998.
- Norma ISO 14042 titulada “Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida”, 2000.
- Norma ISO 14043 titulada “Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida”, 2000.
- Norma ISO 14040-44 “Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida”, 1997.

- ISO. (2008). ISO 15686-5:2008(E) Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 5: Life-cycle costing. International Organization for Standardization.
- UNE-EN 15978:2012: Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.
- UNE-EN 15804:2014: Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.
- UNE-EN 15643:2012: Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios.

ANEXOS

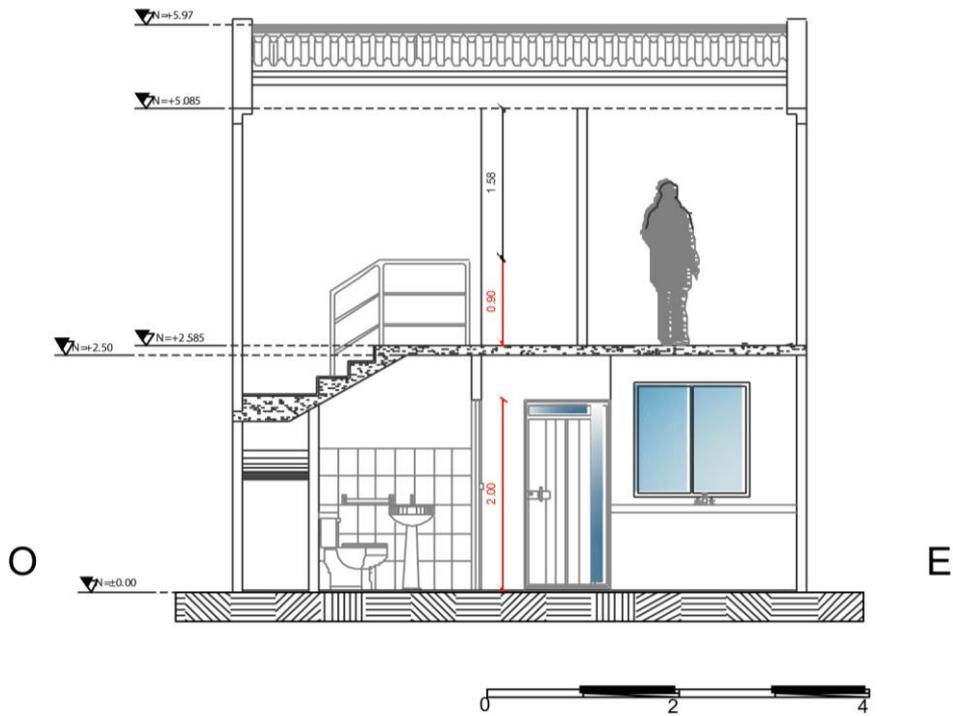
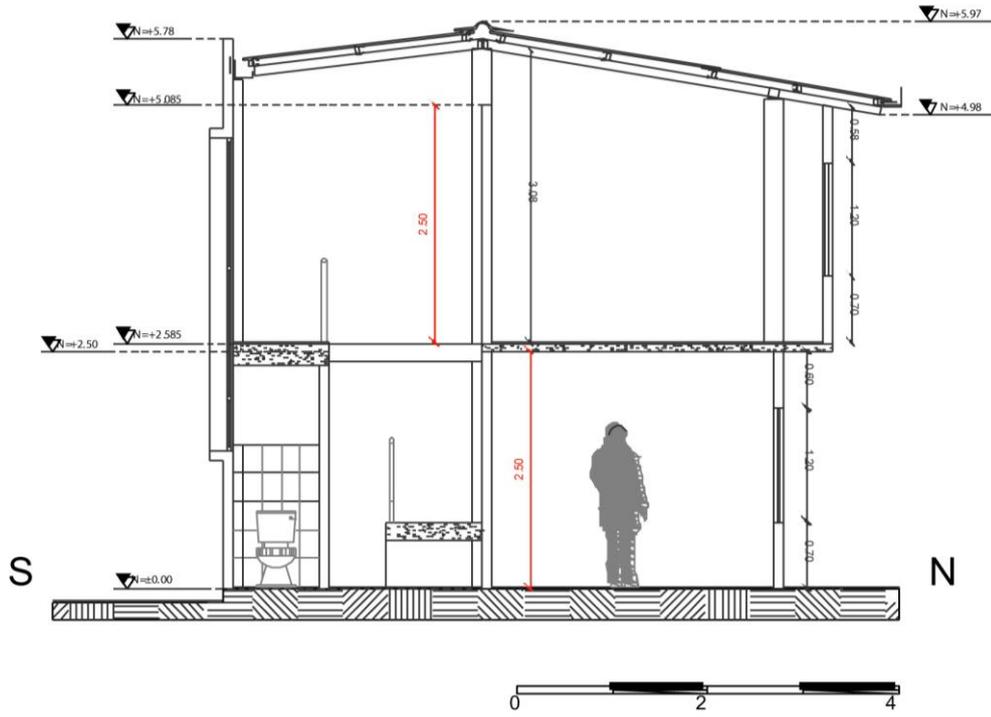
ANEXO 1: Datos técnicos de la vivienda ciudad alergía planimetrías del VIVEM

Fachada Frontal (Norte)

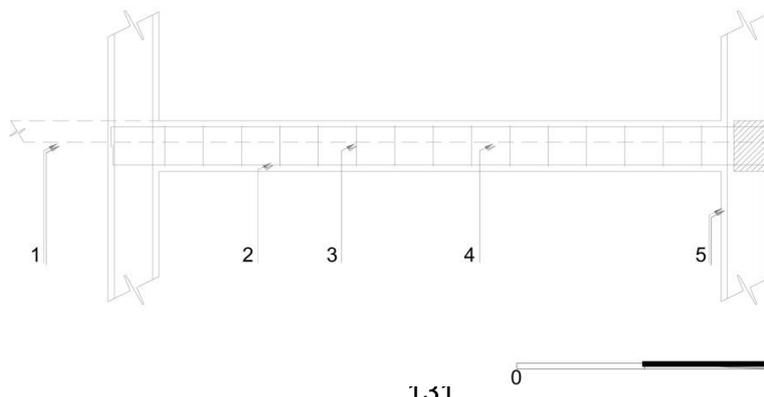
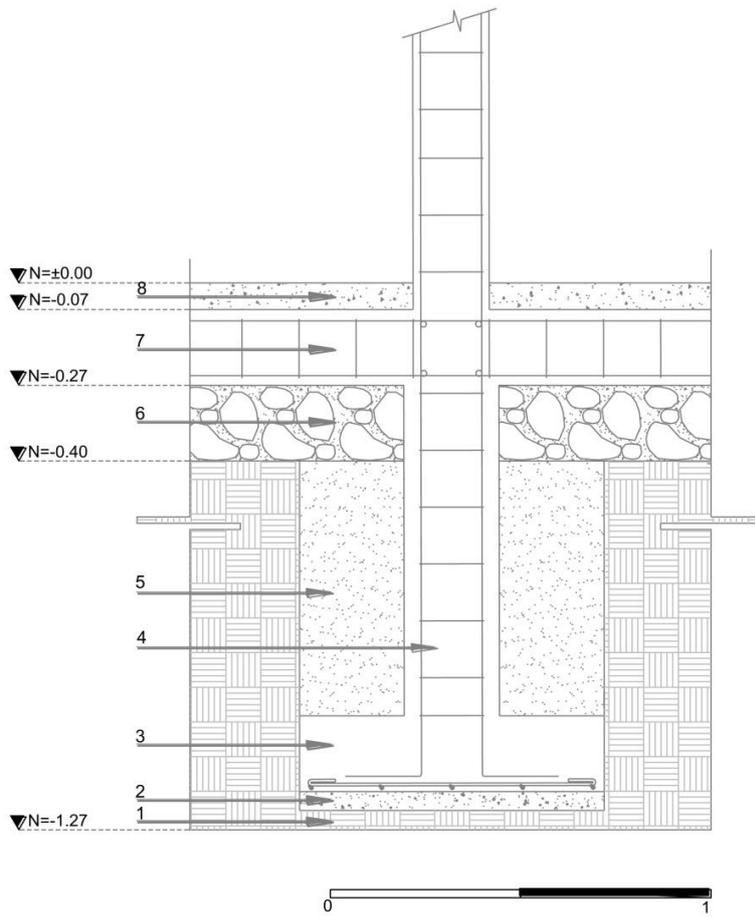
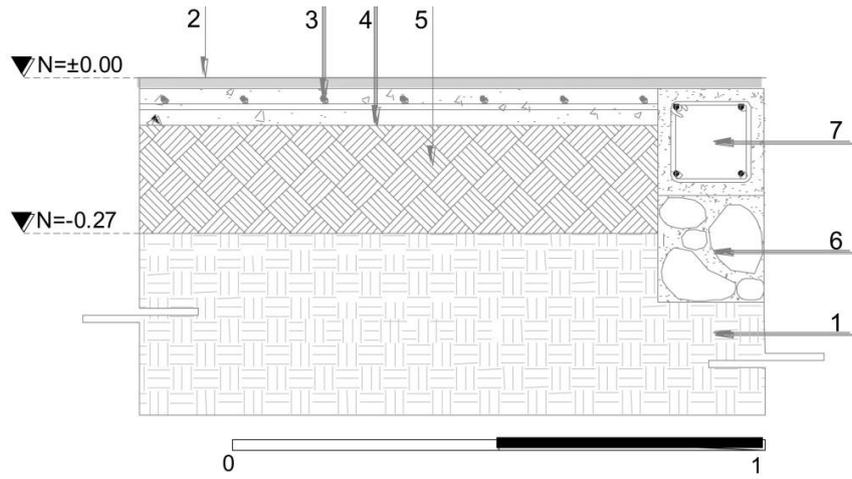


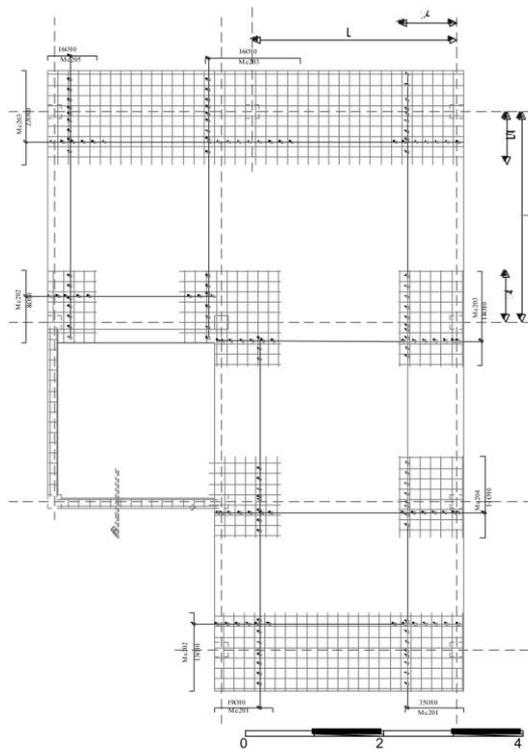
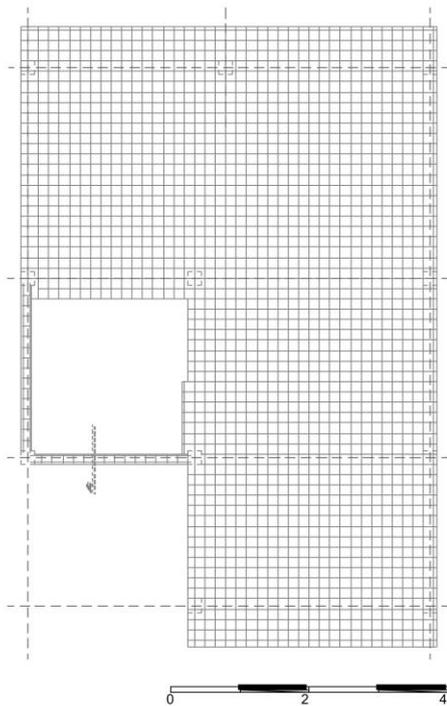
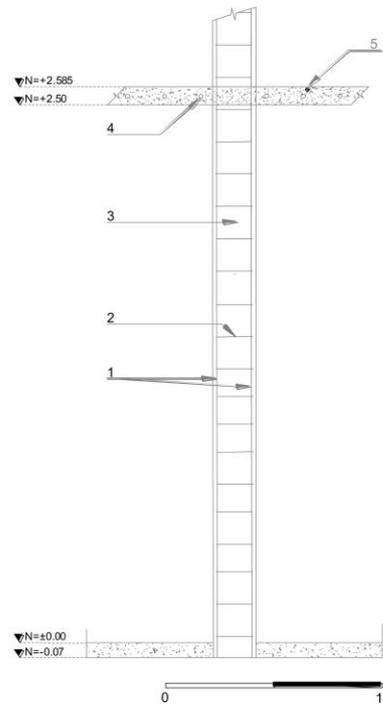
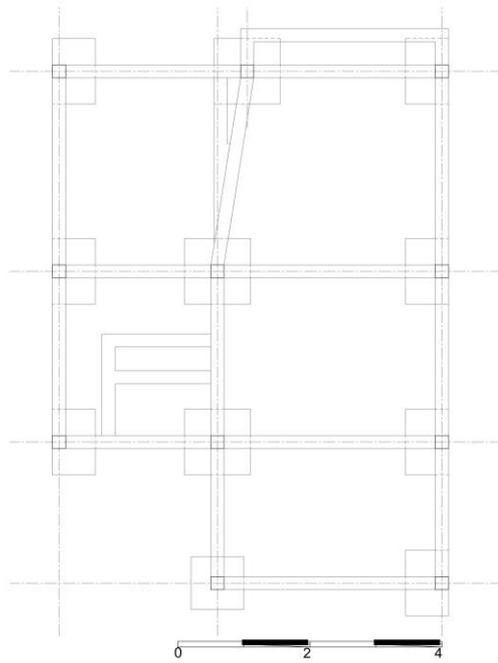
Fachada Posterior (Sur)

Sección A -A



Sección B -B





ANEXO 2: Base de datos Ecoinvent V. 2.0

Base de datos Ecoinvent V2.xls [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	N	O	P	Q	R	S	T	U
296	475	quicklime, milled, loose, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.98378	0	0	0	0.0075	0	0	0.97379	0
297	476	quicklime, milled, packed, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.98986	0	0	1.0141	0	0	0	0.9796	0
298	477	recultivation, limestone mine	CH	m2	0 construction materials	0.68012	0	0	0.6967	0	0	0	0.66993	0
299	478	sand, at mine	CH	kg	0 construction materials	0.0024596	0	0	0.00257	0	0	0	0.002405	0
300	479	silica sand, at plant	DE	kg	0 construction materials	0.021048	0	0	0.021812	0	0	0	0.020699	0
301	480	expanded clay, at plant	DE	kg	0 construction materials	0.35936	0	0	0.37194	0	0	0	0.35391	0
302	481	vermiculite, at mine	ZA	kg	0 construction materials	0.0016782	0	0	0.00172	0	0	0	0.001586	0
303	482	anhydrite, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.014078	0	0	0.015133	0	0	0	0.013566	0
304	483	blast furnace slag cement, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.44545	0	0	0.46037	0	0	0	0.43915	0
305	484	cement, unspecified, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.76115	0	0	0.78497	0	0	0	0.7512	0
306	485	clinker, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.89997	0	0	0.92754	0	0	0	0.88847	0
307	486	lime, hydrated, loose, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.75599	0	0	0.7742	0	0	0	0.74834	0
308	487	lime, hydrated, packed, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.76209	0	0	0.78082	0	0	0	0.75416	0
309	488	lime, hydraulic, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.83054	0	0	0.8692	0	0	0	0.81445	0
310	489	portland calcaareous cement, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.71896	0	0	0.74147	0	0	0	0.70955	0
311	490	portland cement, strength class Z 42.5, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.82162	0	0	0.84745	0	0	0	0.81111	0
312	491	portland cement, strength class Z 52.5, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.83233	0	0	0.85842	0	0	0	0.82141	0
313	492	portland slag sand cement, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.70477	0	0	0.72712	0	0	0	0.69541	0
314	493	stucco, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.073169	0	0	0.079292	0	0	0	0.070531	0
315	494	autoclaved aerated concrete block, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.41112	0	0	0.42774	0	0	0	0.40405	0
316	495	brick, at plant	RER	kg	0 construction materials	0.23845	0	0	0.24949	0	0	0	0.23376	0
317	496	light clay brick, at plant	DE	kg	0 construction materials	0.16187	0	0	0.17468	0	0	0	0.15154	0
318	497	refractory, basic, packed, at plant	DE	kg	0 construction materials	2.3137	0	0	2.4235	0	0	0	2.266	0
319	498	refractory, fireclay, packed, at plant	DE	kg	0 construction materials	1.1846	0	0	1.2783	0	0	0	1.1448	0
320	499	refractory, high aluminium oxide, packed, at plant	DE	kg	0 construction materials	0.88853	0	0	0.94289	0	0	0	0.86383	0
321	500	sand-lime brick, at plant	DE	kg	0 construction materials	0.13031	0	0	0.13522	0	0	0	0.1282	0
322	501	cement cast plaster floor, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.1701	0	0	0.17599	0	0	0	0.16756	0
323	502	concrete, exacting, at plant	CH	m3	0 construction materials	325.94	0	0	336.6	0	0	0	321.44	0
324	503	concrete, exacting, with de-icing salt contact, at plant	CH	m3	0 construction materials	289.9	0	0	299.53	0	0	0	285.82	0
325	504	concrete, normal, at plant	CH	m3	0 construction materials	262.59	0	0	271.07	0	0	0	259	0
326	505	concrete, sole plate and foundation, at plant	CH	m3	0 construction materials	160.62	0	0	166.46	0	0	0	158.39	0
327	506	concrete block, at plant	DE	kg	0 construction materials	0.12203	0	0	0.1265	0	0	0	0.12012	0
328	507	lightweight concrete block, expanded perlite, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.99989	0	0	1.0561	0	0	0	0.97488	0
329	508	lightweight concrete block, polystyrene, at plant	CH	kg	0 construction materials	1.1216	0	0	1.2573	0	0	0	1.0655	0
330	509	lightweight concrete block, pumice, at plant	DE	kg	0 construction materials	0.21421	0	0	0.22195	0	0	0	0.21088	0
331	510	lightweight concrete block, expanded clay, at plant	CH	kg	0 construction materials	0.42869	0	0	0.44412	0	0	0	0.42201	0
332	511	poor concrete, at plant	CH	m3	0 construction materials	123.07	0	0	127.19	0	0	0	121.3	0

ANEXO 3: ETAPA DE PRODUCCIÓN (A1-A3) Vivienda tipo Ciudad Alegría

ETAPA DE PRODUCCIÓN (A1-A3) Vivienda tipo Ciudad Alegría													
Sistema	Elem.	Tipo de Proceso	Material	U	Cantidad	Densidad (kg/m³)	Item	Proceso ECOINVENT	U	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)
0.Cimentacion	0.1	Hormigón de limpieza y nivelación 50mm	Hormigón	m³	0.5599	2300	504	concrete, normal, at	m³	262.59	1466.95	147.0241	821.347
	0.2	Plinto (25x25cm) y zapatas (1x1m; 0.65x1m 0.8x0.8m)	Hormigón	m³	2.0475	2400	504	concrete, normal, at plant	m³	262.59	1466.95	537.6530	3003.588
	0.3	Viga de Cimentación (Cadena 20x20 cm)	Hormigón	m³	2.013	2400	504	concrete, normal,	m³	262.59	1466.95	528.593	2952.978
	0.4	Hormigón de Ciclópeo	Hormigón y Piedra	kg	4992	2300	528	Limestone, crushed, for	kg	0.0021	0.03448	10.64893	172.169
	0.5	Acero de refuerzo Cimentación	Acero	kg	395.88	7850	1141	reinforcing steel, at plant	kg	1.4854	23.3257	588.0401	9234.209
1. Estructura	1.1	Columnas de H° S° 210 Kg/cm², 20x20 cm	Hormigón	m³	2.358	2400	504	concrete, normal, at plant	m³	262.59	1466.95	619.187	3459.077
	1.2	Viga de H° S° f'c=210 Kg/cm², 15x20cm	Hormigón	m³	0.204	2400	504	concrete, normal, at plant	m³	262.59	1466.95	53.568	299.258
	1.3	Escalera de H° S° f'c=210 Kg/cm²	Hormigón	m³	0.96	2400	504	concrete, normal, at plant	m³	262.59	1466.95	252.086	1408.27
	1.4	Dintel H.S. 180 kg/cm2, (10x15cm)	Hormigón	m³	0.29	2200	504	concrete, normal, at plant	m³	262.59	1466.95	76.151	425.416
	1.5	Acero de refuerzo procesado a mano	Acero	kg	483.45	7850	1141	reinforcing steel, at plant	kg	1.4854	23.3257	718.116	11276.84
2. Losa	2.1	Contrapiso de H° S° f'c = 180 Kg/cm² e = 7 cm (piso 0+00)	Hormigón 2	m³	2.4	2400	505	concrete, sole plate and foundation	m³	160.82	1253.32	385.96	3007.97
	2.2	Losa maciza entrepiso de H° S° 210 Kg/cm², e = 8,5 cm	Hormigón	m³	3.5462	2400	504	concrete, normal, at plant	m³	262.59	1466.95	931.196	5202.112
	2.3	Malla electrosoldada 4x150x150 (piso 0+00)	Acero	kg	45.0855	7850	1141	reinforcing steel, at plant	kg	1.4854	23.3257	66.9700	1051.654
	2.4	Malla electrosoldada 8x150x150 (losa +2,50)	Acero	kg	221.844	7850	1141	reinforcing steel, at plant	kg	1.4854	23.3257	329.527	5174.684
3. Envolverte y Compartimiento	3.1	Mampostería de bloque cemento arena e = 10 cm externa	Tabique	kg	11084.7	1200	506	concrete block, at plant	m2	0.1220	0.84539	1352.667	9370.902
	3.2	Mampostería de bloque cemento arena e = 10 cm Interna	Tabique	kg	5085.08	1200	506	concrete block, at plant	m2	0.1220	0.84539	620.532	4298.875
4. Cubierta	4.1	Perfilería estructural cubierta	Acero	kg	420.5	7850	1141	reinforcing steel, at plant	kg	1.4854	23.3257	624.6107	9808.490
	4.2	Cubierta fibrocemento tipo 3 (INEN 1320)	Fibrocemento	m2	51.64	1700	2450		m2	4.8052	152.5	248.142	7875.1
	4.3	Canal de tool galvanizado 0,8mm para AA.LL	Acero	kg	46.74	7233	1172	sheet rolling, chromium	kg	0.5935	11.3124	27.74392	528.7457

ANEXO 4: ETAPA DE TRANSPORTE A OBRA (A4) Vivienda tipo Ciudad Alegría

ETAPA DE TRANSPORTE A OBRA (A4) Vivienda tipo Ciudad Alegría																	
Sistema	Elem.	Material	U	Cantidad	Densidad (kg/m³)	Elemento	Masa total	Masa (t)	D (km)	Unidad (t km)	Item Ecoinvet	U	GWP (kg CO²eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO2eq)	CED (MJ)	
0.Cimentación	0.1	Hormigón	kg	1343.76	2300	Hormigón	11088.96	11.0889	246	2727.88416	1944	t km	0.13638	2.3624	372.0288417	6444.35354	
	0.2	Hormigón	kg	4914	2400	Acero	395.88	0.39588	419	165.87372	1943	t km	0.12534	2.154539	20.79061206	357.3813988	
	0.3	Hormigón	kg	4831.2	2400	Otros	4992	4.992	7	34.944	1943	t km	0.12534	2.154539	4.37988096	75.28821082	
	0.4	Hormigón y Piedra	kg	4992	2300												
	0.5	Acero	kg	395.88	7850												
1. Estructura	1.1	Hormigón	kg	5659.2	2400	Hormigon	9148.8	9.1488	246	2250.6048	1944	t km	0.13638	2.3624	306.9374826	5316.82878	
	1.2	Hormigón	kg	489.6	2400	Acero	483.45	0.48345	419	202.56555	1943	t km	0.12534	2.154539	25.38956604	436.4353775	
	1.3	Hormigón	kg	2304	2400												
	1.4	Hormigón	kg	696	2200												
	1.5	Acero	kg	483.45	7850												
2. Losa	2.1	Hormigón 2	kg	5760	2400	Hormigón	14270.8	14.27088	246	3510.63648	1944	t km	0.13638	2.3624	306.9374826	5316.82878	
	2.2	Hormigón	kg	8510.88	2400	Acero	266.929	0.2669295	419	111.8434605	1943	t km	0.12534	2.154539	25.38956604	436.4353775	
	2.3	Acero	kg	45.0855	7850												
	2.4	Acero	kg	221.844	7850												
3. Envolverte y Compartimiento	3.1	Tabique	kg	11084.71	1200	Bloque	16169.7	16.1697	3	48.50937	1943	t km	0.12534	2.154539	6.080164436	104.5153295	
	3.2	Tabique	kg	5085.08	1200												
4. Cubierta	4.1	Acero	kg	420.5	7850	Acero	420.5	0.4205	419	176.1895	1943	t km	0.12534	2.154539	22.08359193	379.6071491	
	4.2	Fibrocemento	kg	774.6	1700	Fibrocemento	774.6	0.7746	650	503.49	1943	t km	0.12534	2.154539	63.1074366	1084.788841	
	4.3	Acero	kg	46.74	7233	Acero	46.74	0.0467	419	19.58406	1943	t km	0.12534	2.154539	2.45466608	42.19462105	

ANEXO 5: ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y DE-CONSTRUCCIÓN (A5 Y C1) Vivienda tipo Ciudad Alegría

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y DE-CONSTRUCCIÓN (A5 Y C1)																						
Vivienda tipo Ciudad Alegría																						
Sistema	Elem	Material	U	Cantidad	Densidad (kg/m³)	Volumen total	Consumo Diésel MJ/m3	Consumo Electrico (kwh)	MJ	Kwh	Proceso ECOINVENT	U	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)						
0.Cimentacion	0.1	Hormigón	m³	0.5599	2300	6.590	855	37.77777	5635.1601	248.9869	diesel, burned in building machine	MJ	0.09141	1.386135	515.1099884	7811.092701						
	0.2	Hormigón	m³	2.0475	2400																	
	0.3	Hormigón	m³	2.013	2400																	
	0.4	Hormigón y Piedra	m³	1.92	2300												Electricity mix	Kwh	0.49853	10.391529	124.1274566	2587.354953
	0.5	Acero	m³	0.0504	7850																	
1. Estructura	1.1	Hormigón	m³	2.358	2400	3.873	855	37.77777808	3311.9152	146.3354	Diesel,	MJ	0.09141	1.386135	302.7421661	4590.761541						
	1.2	Hormigón	m³	0.204	2400												Electricity mix	Kwh	0.49853	10.391529	18.34168336	315.2854007
	1.3	Hormigón	m³	0.96	2400																	
	1.4	Hormigón	m³	0.29	2200																	
	1.5	Acero	m³	0.0615	7850																	
2. Losa	2.1	Hormigón 2	m³	2.4	2400	5.9802	855	37.77777808	5113.0742	225.9188	Diesel,	MJ	0.09141	1.386135	467.3861138	7087.411124						
	2.2	Hormigón	m³	3.5462	2400												Electricity mix	Kwh	0.49853	10.391529	28.3166637	486.7508879
	2.3	Acero	m³	0.00574	7850																	
	2.4	Acero	m³	0.02826	7850																	
3. Envolvente y Compartimiento	3.1	Tabique	m³	12.181	1200	17.769	855	37.77777808	15192.4950	671.2733	Diesel,	MJ	0.09141	1.386135	1388.745968	21058.84906						
	3.2	Tabique	m³	5.588	1200												Electricity mix	Kwh	0.49853	10.391529	84.13740027	1446.284588
4. Cubierta	4.1	Acero	m³	0.0535	7850	4.260	855	37.77777808	3642.3247	160.9344	Diesel,	MJ	0.09141	1.386135	332.9448977	5048.753701						
	4.2	Fibrocemento	m³		1700												Electricity mix	Kwh	0.49853	10.391529	20.17152076	346.739494
	4.3	Acero	m³	0.00646	7233																	

ANEXO 6: ETAPA TRASPORTE AL LUGAR VERTEDERO (C2) Vivienda tipo Ciudad Alegría

ETAPA TRASPORTE AL LUGAR VERTEDERO (C2) Vivienda tipo Ciudad Alegría																	
Sistema	Elem.	Material	U	Cantidad	Densidad (kg/m³)	Elemento	Masa total	Masa (t)	D (km)	Unidad (t km)	Item Ecoinvet	U	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)	
0.Cimentación	0.1	Hormigón	kg	1343.76	2300	Hormigon	11088.96	11.0889	5	55.4448	1943	t km	0.12534	2.154539	6.94945	119.4579	
	0.2	Hormigón	kg	4914	2400	Acero	395.88	0.39588	5	1.9794	1943	t km	0.12534	2.154539	0.24809	4.26469	
	0.3	Hormigón	kg	4831.2	2400	Otros	4992	4.992	5	24.96	1943	t km	0.12534	2.154539	3.1284864	53.77729	
	0.4	Hormigón y Piedra	kg	4992	2300												
	0.5	Acero	kg	395.88	7850												
1. Estructura	1.1	Hormigón	kg	5659.2	2400	Hormigon	9148.8	9.1488	5	45.744	1943	t km	0.12534	2.154539	5.7335	98.5572	
	1.2	Hormigón	kg	489.6	2400	Acero	483.45	0.48345	5	2.41725	1943	t km	0.12534	2.154539	0.30297	5.20805	
	1.3	Hormigón	kg	2304	2400												
	1.4	Hormigón	kg	696	2200												
	1.5	Acero	kg	483.45	7850												
2. Losa	2.1	Hormigón 2	kg	5760	2400	Hormigón	14270.8	14.27088	5	3510.63648	1943	t km	0.12534	2.154539	8.943560496	153.7358	
	2.2	Hormigón	kg	8510.88	2400	Acero	266.929	0.2669295	5	111.8434605	1943	t km	0.12534	2.154539	0.167284718	2.8755	
	2.3	Acero	kg	45.0855	7850												
	2.4	Acero	kg	221.844	7850												
3. Envoltante y Compartimiento	3.1	Tabique	kg	11084.71	1200	Bloque	16169.7	16.1697	5	48.50937	1943	t km	0.12534	2.154539	10.1336	174.192	
	3.2	Tabique	kg	5085.08	1200												
4. Cubierta	4.1	Acero	kg	420.5	7850	Acero	420.5	0.4205	5	176.1895	1943	t km	0.12534	2.154539	0.2635	4.52991	
	4.2	Fibrocemento	kg	774.6	1700	Fibrocemento	774.6	0.7746	5	503.49	1943	t km	0.12534	2.154539	0.4854	8.34452	
	4.3	Acero	kg	46.74	7233	Acero	46.74	0.0467	5	19.58406	1943	t km	0.12534	2.154539	0.02929	0.50351	

ANEXO 7: ETAPA DE DE-PRODUCCIÓN (C3 - C4 - D) – (A VERTEDERO)(C3-C4) Vivienda tipo Ciudad Alegría

ETAPA DE DE-PRODUCCIÓN (C3 - C4 - D) – (A VERTEDERO)(C3-C4) Vivienda tipo Ciudad Alegría														
Sistema	Elem.	Material	U	Cantidad	Densidad (kg/m³)	Elemento	Masa total (kg)	Item	Proceso ECOINVENT	U	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)
0.Cimentación	0.1	Hormigón	kg	1343.76	2300	Hormigón armado	9745.2	2045	disposal, building, reinforced concrete, to final disposal	kg	0.015569	0.332142	151.723018	3236.790218
	0.2	Hormigón	kg	4914	2400	Acero	395.88	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156	24.242899	381.6900773
	0.3	Hormigón	kg	4831.2	2400	Hormigón Ciclópeo	4992	2007	disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal	kg	0.01397	0.307938	69.73824	1537.226496
	0.4	Hormigón y Piedra	kg	4992	2300									
	0.5	Acero	kg	395.88	7850									
1. Estructura	1.1	Hormigón	kg	5659.2	2400	Hormigón	9148.8	2045	disposal, building, reinforced concrete, to final disposal	kg	0.015569	0.332142	142.43766	3038.70073
	1.2	Hormigón	kg	489.6	2400	Acero	483.45	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156	29.6055111	466.1212182
	1.3	Hormigón	kg	2304	2400									
	1.4	Hormigón	kg	696	2200									
	1.5	Acero	kg	483.45	7850									
2. Losa	2.1	Hormigón 2	kg	5760	2400	Hormigón	14270.88	2045	disposal, building, reinforced concrete, to final disposal	kg	0.015569	0.332142	222.1833307	4739.958625
	2.2	Hormigón	kg	8510.88	2400	Acero	266.9295	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156	16.34622872	257.361679
	2.3	Acero	kg	45.0855	7850									
	2.4	Acero	kg	221.844	7850									
3. Envolverte y Compartimiento	3.1	Tabique	kg	11084.71	1200	Bloque	16169.79	2007	disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal	kg	0.01397	0.307938	225.8919663	4979.292793
	3.2	Tabique	kg	5085.08	1200									
4. Cubierta	4.1	Acero	kg	420.5	7850	Acero	420.5	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156	25.750579	405.427598
	4.2	Fibrocemento	kg	774.6	1700	Fibrocemento	774.6	2007	disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal	kg	0.01397	0.307938	10.821162	238.5287748
	4.3	Acero	kg	46.74	7233	Acero	46.74	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156	2.86226412	45.06465144

ETAPA DE DE-PRODUCCIÓN (C3 - C4 - D) – (A RECICLAJE)(D)														
Vivienda tipo Ciudad Alegria														
Sistema	Elem.	Material	U	Cantidad	Densidad (kg/m³)	Elemento	Masa total (kg)	Item	Proceso ECOINVENT	U	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)
0.Cimentación	0.1	Hormigón	kg	1343.76	2300	Hormigón armado	9745.2	2153	disposal, building, reinforced concrete, to recycling	kg	0.0055945	0.084629	54.5195214	824.7265308
	0.2	Hormigón	kg	4914	2400	Acero	395.88	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156	24.24289944	381.6900773
	0.3	Hormigón	kg	4831.2	2400	Hormigón Ciclópeo	4992	2148	disposal, building, concrete, not reinforced, to recycling	kg	0.0039948	0.060429	19.9420416	301.661568
	0.4	Hormigón y Piedra	kg	4992	2300			2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	kg	0.057225	0.865639	22.654233	342.6891673
	0.5	Acero	kg	395.88	7850									
1. Estructura	1.1	Hormigón	kg	5659.2	2400	Hormigón	9148.8	2153	disposal, building, reinforced concrete, to recycling	kg	0.0055945	0.084629	51.1829616	774.2537952
	1.2	Hormigón	kg	489.6	2400	Acero	483.45	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156	29.6055111	466.1212182
	1.3	Hormigón	kg	2304	2400			2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	kg	0.057225	0.865639	27.66542625	418.4931746
	1.4	Hormigón	kg	696	2200									
	1.5	Acero	kg	483.45	7850									
2. Losa	2.1	Hormigón 2	kg	5760	2400	Hormigón	14270.88	2153	disposal, building, reinforced concrete, to recycling	kg	0.0055945	0.084629	79.83843816	1207.730304
	2.2	Hormigón	kg	8510.88	2400	Acero	266.9295	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	kg	0.061238	0.964156	16.34622872	257.361679
	2.3	Acero	kg	45.0855	7850			2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	kg	0.057225	0.865639	15.27504064	231.06458
	2.4	Acero	kg	221.844	7850									
3. Envolverte y Compartimiento	3.1	Tabique	kg	11084.71	1200	Bloque	16169.79	2148	disposal, building, concrete, not reinforced, to recycling	kg	0.0039948	0.060429	64.59507709	977.1242399
	3.2	Tabique	kg	5085.08	1200									
4. Cubierta	4.1	Acero	kg	420.5	7850	Acero	420.5	2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	kg	0.057225	0.865639	24.0631125	364.0011995
	4.2	Fibrocemento	kg	774.6	1700	Fibrocemento	774.6	2148	disposal, building, concrete, not reinforced, to recycling	kg	0.0039948	0.060429	3.09437208	46.8083034
	4.3	Acero	kg	46.74	7233	Acero	46.74	2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	kg	0.057225	0.865639	2.6746965	40.45996686

ANEXO 8: SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE ESTRUCTURA Y ENVOLVENTES Y PARTICIONES

ETAPA DE PRODUCCIÓN (A1-A3)															
SISTEMAS DE ESTRUCTURA Y ENVOLVENTES Y PARTICIONES															
Sistema de estructura	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni 1	Cantidad	Uni 2	Cantidad	Item	GWP (kg CO ² eq)	CED (MJ)	Uni 1	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)	Uni 2	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)
Estructura de Hormigón Armado	H° S° 210 Kg/cm²	2400	m3	1	kg	1	504	262.59	1466.95	m3	262.59	1466.954	kg	0.10941	0.6112
	Acero de Refuerzo	7850	kg	141.63	kg	0.059	1141	1.4854	23.3257	kg	210.37	3303.63	kg	0.0876	1.3762
	Pilar de H° S° 210 Kg/cm², 20x20 cm x2.57m	2400	m3	0.1028	kg	246	504	262.59	1466.95	m3	26.994252	150.802	kg	26.915	150.362
	Acero de Refuerzo Varillas	7850	kg	14.56	kg	14.56	1141	1.4854	23.3257	kg	21.627424	339.623	kg	21.6274	339.623
Estructura de Acero	Acero Estructural KG	7850	kg	1			1141	1.4854	23.3257	kg	1.4854	23.325			
	Pilar de Acero - 2 perfil G 20cmx5cmx3mm	7850	kg	37.57			1141	1.4854	23.3257	Kg	55.806478	876.3495			
(m2) Sistema de Envolverte y particiones	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni 1	Cantidad	Uni 2	Cantidad	Item	GWP (kg CO ² eq)	CED (MJ)	Uni 1	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)	Uni 2	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)
(m2) Ladrillo de Arcilla	Ladrillo artesanal 10 x 8 x23 cm	900	Kg	56.814			495	0.23845	2.83811	kg	13.54729	161.244			
	Mortero de unión	2000	kg	34			537	0.19025	1.51784	kg	6.4685	51.606			
(m2) Bloques de hormigón	bloque cemento arena e = 10cm 20x40x10 cm	1200	kg	94.08			506	0.12203	0.84539	kg	11.4805	79.5342			
	Mortero de unión	2000	kg	11.8			537	0.19025	1.51784	kg	2.24495	17.910			
(m2) Gypsum	Acero Galvanizado	7200	kg	1.35			1165	0.97906	5.13535	kg	1.321731	6.932			
	Aislante, Lana mineral de roca	80	kg	5.1			1000	1.4609	22.6346	kg	7.45059	115.43			
	Cartón yeso	800	kg	4.93			517	0.35341	6.05305	kg	1.74231	29.8415			

ETAPA DE TRANSPORTE A OBRA (A4)												
SISTEMAS DE ESTRUCTURA Y ENVOLVENTES Y PARTICIONES												
Sistema de estructura	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni 1	Cantidad	Toneladas	Distancia	U (t km)	Item	GWP (kg CO²eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO2eq)	CED (MJ)
Estructura de Hormigón Armado	H° S° 210 Kg/cm²	2400	kg	1	0.001	246	0.246	1944	0.13638	2.3624	0.03354	0.58115
	Acero de Refuerzo	7850	kg	0.059	0.000059	419	0.02472	1943	0.12534	2.15453	0.003098	0.05326
	Pilar de H° S° 210 Kg/cm², 20x20 cm x2.57m	2400	kg	246	0.246	246	60.516	1944	0.13638	2.3624	8.253172	142.962
	Acero de Refuerzo Varillas	7850	kg	14.56	0.01456	419	6.10064	1943	0.12534	2.1545	0.764654	13.1440
Estructura de Acero	Acero Estructural KG	7850	kg	1	0.03757	419	0.419	1943	0.12534	2.15453	0.052517	0.90275
	Pilar de Acero - 2 perfil G 20cmx5cmx3mm	7850	kg	37.57	0.03757	419	15.7418	1943	0.12534	2.15453	1.9730	33.916
(m2) Sistema de Envolverte y particiones	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni 1	Cantidad	Toneladas	Distancia	U (t km)	Item	GWP (kg CO²eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO2eq)	CED (MJ)
(m2) Ladrillo de Arcilla	Ladrillo artesanal 10 x 8 x23 cm	900	Kg	56.814	0.05681	33	1.8748	1943	0.12534	2.1545	0.23499	4.0394
	Mortero de unión	2000	kg	34	0.034	246	8.364	1944	0.13638	2.3624	1.14068	19.759
(m2) Bloques de hormigón	bloque cemento arena e = 10cm 20x40x10 cm	1200	kg	94.08	0.09408	4	0.37632	1943	0.12534	2.154539	11.4805	79.534
	Mortero de unión	2000	kg	11.8	0.0118	246	2.9028	1944	0.13638	2.3624	2.24495	17.91
(m2) Gypsum	Acero Galvanizado	7200	kg	1.35	0.00135	2700	3.645	1968	0.010732	0.1697	0.03911	0.6186
	Aislante, Lana mineral de roca	80	kg	5.1	0.0051	2700	13.77	1968	0.010732	0.1697	0.14777	2.337
	Cartón yeso	800	kg	4.93	0.00493	2700	13.311	1968	0.010732	0.1697	0.142853	2.2592
					0.00135	391	0.52785	1944	0.13638	2.3624	0.071988	1.24699
					0.0051	391	1.9941	1944	0.13638	2.3624	0.27195	4.710
					0.00493	391	1.92763	1944	0.13638	2.3624	0.26289	4.5538
					0.00135	668	0.9018	1943	0.12534	2.1545	0.113031	1.94296
					0.0051	668	3.4068	1943	0.12534	2.1545	0.42700	7.3400
				0.00493	668	3.29324	1943	0.12534	2.15	0.03911	0.6186	

ETAPA TRASPORTE AL LUGAR VERTEDERO (C2) SISTEMAS DE ESTRUCTURA Y ENVOLVENTES Y PARTICIONES												
Sistema de estructura	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni 1	Cantidad	Toneladas	Distancia	U (t km)	Item	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)
Estructura de Hormigón Armado	H° S° 210 Kg/cm²	2400	kg	1	0.001	5	0.005	1943	0.12534	2.154539	0.00062	0.01077
	Acero de Refuerzo	7850	kg	0.059	0.000059	5	0.00029	1943	0.12534	2.154539	3.697E-05	0.000635
	Pilar de H° S° 210 Kg/cm², 20x20 cm x2.57m	2400	kg	246	0.246	5	1.23	1943	0.12534	2.154539	0.15416	2.65008
	Acero de Refuerzo Varillas	7850	kg	14.56	0.01456	5	0.0728	1943	0.12534	2.154539	0.009124	0.15685
Estructura de Acero	Acero Estructural KG	7850	kg	1	0.03757	5	0.005	1943	0.12534	2.154539	0.00062	0.01077
	Pilar de Acero - 2 perfil G 20cmx5cmx3mm	7850	kg	37.57	0.03757	5	0.18785	1943	0.12534	2.154539	0.02354	0.40473
(m2) Sistema de Envoltante y particiones	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni 1	Cantidad	Toneladas	Distancia	U (t km)	Item	GWP (kg CO ₂ eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	CED (MJ)
(m2) Ladrillo de Arcilla	Ladrillo artesanal 10 x 8 x23 cm	900	Kg	56.814	0.05681	5	0.28407	1943	0.12534	2.154539	0.035605334	0.612039894
	Mortero de unión	2000	kg	34	0.034	5	0.17	1943	0.12534	2.154539	0.0213078	0.36627163
(m2) Bloques de hormigón	bloque cemento arena e = 10cm 20x40x10 cm	1200	kg	94.08	0.09408	5	0.4704	1943	0.12534	2.154539	0.058959936	1.013495146
	Mortero de unión	2000	kg	11.8	0.0118	5	0.059	1943	0.12534	2.154539	0.00739506	0.127117801
(m2) Gypsum	Acero Galvanizado	7200	kg	1.35	0.00135	5	0.00675	1943	0.12534	2.154539	0.000846045	0.014543138
	Aislante, Lana mineral de roca	80	kg	5.1	0.0051	5	0.0255	1943	0.12534	2.154539	0.00319617	0.054940745
	Cartón yeso	800	kg	4.93	0.00493	5	0.02465	1943	0.12534	2.154539	0.003089631	0.053109386

**ETAPA DE DE-PRODUCCIÓN (C3 - C4 - D) – (A VERTEDERO)(C3-C4)
SISTEMAS DE ESTRUCTURA Y ENVOLVENTES Y PARTICIONES**

Sistema de estructura	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni	Cantidad	Item	Proceso ECOINVENT	GWP (kg CO²eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO2eq)	CED (MJ)
Estructura de Hormigón Armado	H° S° 210 Kg/cm²	2400	kg	1	2045	disposal, building, reinforced concrete, to final disposal	0.015569	0.332142	0.015569	0.3321
	Acero de Refuerzo	7850	kg	0.059	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	0.061238	0.964156	0.00361	0.056
	Pilar de H° S° 210 Kg/cm², 20x20 cm x2.57m	2400	kg	246	2045	disposal, building, reinforced concrete, to final disposal	0.015569	0.332142	3.829974	81.70
	Acero de Refuerzo Varillas	7850	kg	14.56	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	0.061238	0.964156	0.8916	14.0381
Estructura de Acero	Acero Estructural KG	7850	kg	1	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	0.061238	0.964156	0.061238	0.964
	Pilar de Acero - 2 perfil G 20cmx5cmx3mm	7850	kg	37.57	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	0.061238	0.964156	2.30071	36.2233
(m2) Sistema de Envoltente y particiones	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni	Cantidad	Item		GWP (kg CO²eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO2eq)	CED (MJ)
(m2) Ladrillo de Arcilla	Ladrillo artesanal 10 x 8 x23 cm	900	Kg	56.814	2005	disposal, building, brick, to final disposal	0.013257	0.2971	0.753	16.882
	Mortero de unión	2000	kg	34	2007	disposal, building, concrete and mortar, to final disposal	0.01397	0.3079	0.47498	10.46
(m2) Bloques de hormigón	bloque cemento arena e = 10cm 20x40x10 cm	1200	kg	94.08	2007	disposal, building, concrete and mortar, to final disposal	0.01397	0.3079	1.3142	28.970
	Mortero de unión	2000	kg	11.8	2007	disposal, building, concrete and mortar, to final disposal	0.01397	0.3079	0.164	3.633
(m2) Gypsum	Acero Galvanizado	7200	kg	1.35	2049	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	0.061238	0.9641	0.082	1.301
	Aislante, Lana mineral de roca	80	kg	5.1	2023	disposal, building, mineral wool, to final disposal	0.0099749	0.24750	0.0508	1.2622
	Cartón yeso	800	kg	4.93	2032	disposal, building, plaster board, gypsum plaster, final disposal	0.013257	0.297156	0.0653	1.46497

ETAPA DE DE-PRODUCCIÓN (C3 - C4 - D) – (A RECICLAJE)(D) SISTEMAS DE ESTRUCTURA Y ENVOLVENTES Y PARTICIONES										
Sistema de estructura	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni	Cantidad	Item	Proceso ECOINVENT	GWP (kg CO²eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO2eq)	CED (MJ)
Estructura de Hormigón Armado	H° S° 210 Kg/cm²	2400	kg	1	2153	disposal, building, reinforced concrete, to recycling	0.0055945	0.084629	0.00559	0.084629
	Acero de Refuerzo	7850	kg	0.059	2049	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	0.061238	0.964156	0.0036	0.05688
	Pilar de H° S° 210 Kg/cm², 20x20 cm x2.57m	2400	kg	246	2153	disposal, building, reinforced concrete, to recycling	0.0055945	0.084629	1.3762	20.818
	2156	0.057225	0.865639	0.8331	12.60					
Estructura de Acero	Acero Estructural KG	7850	kg	1	2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	0.057225	0.865639	0.0572	0.8656
	Pilar de Acero - 2 perfil G 20cmx5cmx3mm	7850	kg	37.57	2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	0.057225	0.865639	2.14994325	32.5220
(m2) Sistema de Envolverte y particiones	Tipo de Proceso	Densidad (kg/m³)	Uni	Cantidad	Item		GWP (kg CO²eq)	CED (MJ)	GWP (kgCO2eq)	CED (MJ)
(m2) Ladrillo de Arcilla	Ladrillo artesanal 10 x 8 x23 cm	900	Kg	56.814	2142	disposal, building, brick, to recycling	0.0032818	0.049643	0.18645	2.82041
	Mortero de unión	2000	kg	34	2148	disposal, building, concrete, not reinforced, to recycling	0.0039948	0.060429	0.1358	2.054
(m2) Bloques de hormigón	bloque cemento arena e = 10cm 20x40x10 cm	1200	kg	94.08	2148	disposal, building, concrete, not reinforced, to recycling	0.0039948	0.060429	0.37583	5.6851
	Mortero de unión	2000	kg	11.8	2148	disposal, building, concrete, not reinforced, to recycling	0.0039948	0.060429	0.04713	0.7130
(m2) Gypsum	Acero Galvanizado	7200	kg	1.35	2156	disposal, building, reinforcement steel, to recycling	0.057225	0.865639	0.0772	1.1686
	Aislante, Lana mineral de roca	80	kg	5.1	2075	disposal, mineral wool, 0% water, to inert material landfill	0.0070743	0.198528	0.0360	1.0124928
	Cartón yeso	800	kg	4.93	2151	disposal, building, plaster board, gypsum plaster, to recycling	0.0032818	0.049643	0.01617	0.24473