



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AUTOMOTRIZ**  
**JEFATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TESIS**

**“ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UNA VIVIENDA RESIDENCIAL USANDO  
DOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS: POLIESTIRENO EXPANDIDO Y TABIQUE  
ROJO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTA  
DALIA ROJAS CORTES**

**DIRECTOR DE TESIS  
DR. ALVARO JESÚS MENDOZA JASSO**

**CO-DIRECTOR DE TESIS  
M.D.I. FERNANDO ITURBIDE JIMÉNEZ**

**HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA. MARZO DE 2021**

## DEDICATORIA

Cuando me pongo a pensar en quién soy, puedo apreciar que soy una compilación de la fuerza de mi mamá **Teofila**, la sensibilidad de mi mamá **Artemia**, la determinación de mi hermana **Rosa Elvira**, la sensatez de mi papá **Germán**, el ingenio de mi tío **Ignacio** y lo tenaz de mi primo **Heriberto**. Es por ello que la persona en que me he convertido y este logro se los dedico a ustedes, mi familia, que me ha entregado todo de sí desde el primer día y me han enseñado a luchar por mis sueños sin desistir. Esto es por y para ustedes, mis más grandes mentores de vida.

Con amor, Heyma.

## AGRADECIMIENTOS

A mi **familia**, les agradezco por ser la brújula que guía mi camino, mi inspiración para llegar a lo alto de la montaña, mi consuelo ante algo inesperado y mi motor para seguir adelante sin tambalear. Gracias por ser una familia poco común, donde sé que siempre podré refugiarme, les agradezco la fe que han tenido en mí y el apoyo que me han brindado. No me alcanzan las palabras para explicar lo agradecida que estoy con ustedes, basta decir que los amaré eternamente y siempre serán mi más inmensa fortuna.

A mi madre, **Teofila**, le agradezco por ser mi ejemplo de fortaleza, valentía y dulzura. Porque con sus cuidados me hizo más fuerte, con sus consejos más sabia, pero con su amor me hace la persona más plena y con una simple sonrisa me brinda armonía.

A mi madre, **Artemia**, le agradezco por darme la vida, ser mi apoyo, ser mi sustento, por acompañarme en esas largas horas de desvelo, ser mi compañera y enseñarme a tomar el camino que me hace feliz.

A mi hermana, **Rosa Elvira**, le agradezco por ser mi hermana, tía y madre, compañera, mejor amiga, consuelo, sonrisa y más grande apoyo... por creer en mí, porque desde el comienzo me ayudó a tener los más sólidos cimientos y luchó para ayudarme a cumplir este sueño.

A mi padre, **Germán**, le agradezco por enseñarme que no hay sueños imposibles y solo hace falta extender las alas y volar, que las barreras no se superan imaginando que no existen sino afrontando los miedos y superando nuestros límites.

A mi tío, **Ignacio**, le agradezco por hacerme creer que la magia existe, por ayudarme a definir mi carácter con cada clase y por enseñarme que nuestra palabra es lo más valioso que tenemos y no debemos romperla.

A mi primo, **Heriberto**, le agradezco por ser mi mejor amigo, por escucharme y aconsejarme en cada momento, por convertirse en mi protector y mi más grande defensa.

A mis **amigos**, les agradezco porque cuando algunos me quitaron el habla ustedes se quedaron a mi lado y me dieron un fuerte abrazo, haciéndome notar que no estaba sola, convirtiéndose en mi

paraguas en días de lluvia, mis porristas en días venturosos y mi equipo para vencer temores. Gracias por hacer de este viaje auténtico, los atesoraré eternamente.

A mi Director de tesis el **Dr. Álvaro Jesús Mendoza Jasso** y mi Co-Director el **M.D.I. Fernando Iturbide Jiménez**, les agradezco por ser mi guía durante este proyecto, quienes con paciencia y esmero me brindaron su tiempo, apoyo y conocimientos en todo momento, direccionando mi camino en esta aventura.

A mis revisores de tesis, **Dr. Alfredo, Mtro. Armando y Dra. Elizabeth**, les agradezco por las enseñanzas y consejos brindados para explotar el potencial del proyecto, brindándome sus conocimientos y tiempo.

A la **PRODEP-SEP**, quien a través del marco de “**Fortalecimiento de Cuerpos Académicos PRODEP-SEP**” con el proyecto titulado “**Diseño y desarrollo de unidades modulares de techo y muro en poliestireno expandido (EPS), como sistema alternativo de construcción**”, contribuyó con el financiamiento para la realización de este trabajo de tesis.

A la Constructora de Huajuapán de León y al Arq. Itzamatul, les agradezco su tiempo y apoyo brindado para fortalecer los conocimientos en esta investigación y brindar información sustancial para el desarrollo del mismo.

A la **Universidad Tecnológica de la Mixteca**, mi alma máter, le agradezco por haberme permitido formarme en sus aulas, ayudándome a superar mis límites, brindándome una experiencia única donde la constancia, dedicación y esfuerzo son claves del éxito.

## RESUMEN

El sector de la construcción tiene gran participación en el deterioro ambiental, directa o indirectamente, debido a la naturaleza misma de sus actividades. En este contexto se presenta este proyecto cuyo objetivo es elaborar el análisis del ciclo de vida de una vivienda residencial usando dos sistemas constructivos: poliestireno expandido y tradicional, por medio del software SimaPro para determinar los impactos ambientales en Huajuapán de León, Oaxaca, México. El proyecto implicó 4 etapas. En la primera se definieron los límites de estudio, considerando abarcar solamente el ACV del sistema constructivo de cada vivienda. En la segunda etapa se recopiló los inventarios (materiales, transporte y energía) de cada sistema constructivo. En la tercera etapa se evaluó el impacto ambiental de cada sistema constructivo por medio del software SimaPro, en el cual se ingresaron los datos obtenidos en la etapa 2. Después de analizar 10 escenarios, se observó que el sistema constructivo EPS tiene menor impacto ambiental comparado con el sistema constructivo tradicional debido a que en la etapa de uso consume el 80% menos de energía eléctrica gracias a sus propiedades de aislamiento térmico, disminuyendo así su impacto ambiental.

***Palabras clave:*** Impacto ambiental, industria de la construcción, placas de unicel, SimaPro.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	V
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES .....</b>	<b>2</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	5
1.4. HIPÓTESIS .....	5
1.5. OBJETIVOS .....	6
1.5.1. <i>Objetivo general.</i> .....	6
1.5.2. <i>Objetivos específicos.</i> .....	6
1.6. METAS .....	6
1.7. LIMITACIONES .....	7
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1. ORÍGENES .....	8
2.2. CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO.....	9
2.3. NORMATIVA DEL ACV .....	12
2.4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	14
2.4.1. <i>Matriz MET.</i> .....	15
2.4.2. <i>Eco-indicadores.</i> .....	18
2.4.3. <i>Softwares.</i> .....	20
2.5. IMPORTANCIA DEL ACV EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	21
2.6. EL EPS COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN .....	23
2.7. SISTEMA CONSTRUCTIVO EPS .....	25
2.8. EL SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL .....	28

2.9. SOFTWARE SIMAPRO .....	31
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO.....</b>	<b>37</b>
3.1. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE .....	37
3.1.1. <i>Objetivo.</i> .....	37
3.1.2. <i>Alcance.</i> .....	37
3.1.3. <i>Unidad funcional y flujo de referencia.</i> .....	39
3.1.4. <i>Criterios de corte.</i> .....	39
3.2. ANÁLISIS DEL INVENTARIO .....	39
3.2.1. <i>Procedimientos de la recolección de datos.</i> .....	39
3.2.2. <i>Descripción de los insumos.</i> .....	40
3.2.3. <i>Transporte de materiales.</i> .....	40
3.2.4. <i>Construcción de la vivienda.</i> .....	41
3.2.5. <i>Uso.</i> .....	42
3.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO .....	44
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
4.1. ESCENARIO 1 .....	51
4.2. ESCENARIO 2 .....	54
4.3. ESCENARIO 3 .....	55
4.4. ESCENARIO 4 .....	57
4.5. ESCENARIO 5 .....	59
4.6. ESCENARIO 6 .....	60
4.7. ESCENARIO 7 .....	62
4.8. ESCENARIO 8 .....	65
4.9. ESCENARIO 9 .....	67
4.10. ESCENARIO 10 .....	69
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
REFERENCIAS.....	74
ANEXOS.....	77

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de las etapas del ACV.....	12
Tabla 2 Ejemplo de la matriz MET: cafetera. Etapas de obtención y consumo de materiales, producción y distribución.....	16
Tabla 3 Ejemplo de la matriz MET: cafetera. Etapas de uso y sistema de fin de vida. ....	17
Tabla 4 Ejemplo de la aplicación del Ecoindicador 99: cafetera. ....	19
Tabla 5 Softwares para ACV. ....	21
Tabla 6 Valores considerados en la etapa de transporte considerando diferentes puntos de origen y como punto de llegada el fraccionamiento Álamos en la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca. ....	41
Tabla 7 Densidades de los materiales para el cálculo de la masa ocupada en cada sistema constructivo. ....	41
Tabla 8 Tipo de equipo considerado para la etapa de uso en climatización. ....	43
Tabla 9 Valores utilizados en la etapa de uso. ....	43
Tabla 10 Categorías de impacto para metodología EPD.....	44
Tabla 11 Relación entre las etapas del ciclo de vida de una edificación y los procesos en SimaPro. ....	45
Tabla 12 Escenarios de evaluación del ACV. ....	50
Tabla 13 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 1.....	52
Tabla 14 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 2.....	54
Tabla 15 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 3.....	56
Tabla 16 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 4.....	58
Tabla 17 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 5.....	60
Tabla 18 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 6.....	62
Tabla 19 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 7.....	63
Tabla 20 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 8.....	66
Tabla 21 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 9.....	68
Tabla 22 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 10.....	70

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Etapas del ciclo de vida. ....	9
Figura 2 Etapas del ciclo de vida de una edificación. ....	10
Figura 3 Fases del ACV según ISO 14040. ....	13
Figura 4 Grado de complejidad de los métodos de evaluación. ....	15
Figura 5 Diagrama de descripción de la matriz MET. ....	15
Figura 6 Uso del EPS en construcción de carretera en Noruega. ....	24
Figura 7 Bloques de EPS, esquineros, lineales y estrutec. ....	26
Figura 8 Diagrama de las etapas de construcción del sistema constructivo EPS. ....	26
Figura 9 Diagrama de las sub-etapas de losa de cimentación, muros y losa de azotea para el sistema constructivo EPS. ....	27
Figura 10 Diagrama de sub-etapas de acabados de repello para sistema constructivo EPS. ....	28
Figura 11 Variantes de tabique. ....	28
Figura 12 Tabique rojo. ....	29
Figura 13 Diagrama de etapas de construcción del sistema constructivo tradicional. ....	29
Figura 14 Diagrama de sub-etapas de preliminares y cimentación, albañilería y acabado y estructura del sistema constructivo tradicional. ....	30
Figura 15 Diagrama de los pasos para realizar un ACV en SimaPro. ....	31
Figura 16 Diagrama de las etapas para realizar un ACV. ....	32
Figura 17 Pestaña de descripción del software SimaPro. ....	33
Figura 18 Pestaña de bibliotecas del software SimaPro. ....	33
Figura 19 Pestaña de procesos dle software SimaPro. ....	34
Figura 20 Diagrama de las etapas del ciclo de vida a evaluar en el ACV. ....	38
Figura 21 Temperatura promedio por hora en Huajuapán de León, Oaxaca México. ....	43
Figura 22 Inventario de materiales del sistema EPS en SimaPro. ....	46
Figura 23 Inventario de materiales del sistema constructivo tradicional en SimaPro. ....	46
Figura 24 Pestaña de transporte en SimaPro. ....	47
Figura 25 Pestaña de uso en SimaPro. ....	47
Figura 26 Inventario de uso de sistema tradicional en SimaPro. ....	48

Figura 27 Pestaña de ensamble en SimaPro.....	48
Figura 28 Pestaña de ensamble en SimaPro.....	49
Figura 29 Pestaña de ciclo de vida en SimaPro. ....	49
Figura 30 Resultados del escenario 1 en SimaPro. ....	51
Figura 31 Gráfica del impacto ambiental del escenario 1 por categoría de impacto y porcentaje.	52
Figura 32 Gráfico de red del sistema constructivo EPS.....	53
Figura 33 Gráfico de red del sistema constructivo de tabique rojo.....	53
Figura 34 Resultados del escenario 2 en SimaPro. ....	54
Figura 35 Gráfica de resultados del escenario 2 por categoría de impacto y porcentaje. ....	55
Figura 36 Resultados del escenario 3 en SimaPro. ....	55
Figura 37 Gráfica de resultados del escenario 3 por categoría de impacto y porcentaje. ....	56
Figura 38 Resultados del escenario 4 en SimaPro. ....	57
Figura 39 Gráfica de resultados del escenario 4 por categoría de impacto y porcentaje.. ....	58
Figura 40 Resultados del escenario 5 en SimaPro. ....	59
Figura 41 Gráfica de resultados del escenario 5 por categoría de impacto y porcentaje. ....	60
Figura 42 Resultados del escenario 6 en SimaPro. ....	61
Figura 43 Gráfica de resultados del escenario 6 por categoría de impacto y porcentaje. ....	62
Figura 44 Resultados del escenario 7 en SimaPro. ....	63
Figura 45 Gráfico de resultados del escenario 7 por categoría de impacto y porcentaje. ....	64
Figura 46 Gráfico de red de materiales del sistema constructivo EPS por SimaPro. ....	64
Figura 47 Gráfico de red de materiales del sistema constructivo de tabique rojo por SimaPro. ...	65
Figura 48 Resultados del escenario 8 en SimaPro. ....	66
Figura 49 Resultados del escenario 8 por categoría de impacto y porcentaje.....	67
Figura 50 Resultados del escenario 9 en SimaPro. ....	67
Figura 51 Gráfica de resultados del escenario 9 por categoría de impacto y porcentaje. ....	68
Figura 52 Parte 1 de resultados del escenario 10 en SimaPro.....	69
Figura 53 Parte 2 de resultados del escenario 10 en SimaPro.....	69
Figura 54 Gráfica de resultados del escenario 10 por categoría de impacto y porcentaje. ....	70

### GLOSARIO

**Análisis del Ciclo de Vida (ACV):** Recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema (producto o proceso) a través de su ciclo de vida.

**Categoría de impacto:** clase que representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida.

**Ciclo de vida:** etapas consecutivas o interrelacionadas de un producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final.

**Criterios de corte:** especificación de la cantidad de flujo de materia o de energía o del nivel de importancia ambiental asociado a los procesos unitarios o al sistema del producto para su exclusión del estudio.

**Entrada:** Flujo de producto, de materia o energía que entran en el proceso de transformación.

**Industria sostenible:** es aquella industria o sector industrial que se encuentra en equilibrio con el entorno, satisfaciendo las necesidades de su cliente sin comprometer el cumplimiento de estas necesidades para futuras generaciones.

**Poliestireno expandido (EPS):** o unicel, es un plástico que se le introduce aire en su masa formando burbujas, proceso conocido como espumado, por lo que su composición es aproximadamente 5% materia prima y 95% aire.

**Salida:** Flujo de producto, de materia o de energía que sale de un proceso.

**Sistema constructivo de poliestireno expandido:** Sistema constructivo constituido por una estructura de bloques de EPS que se ensamblan y unen por medio de un vaciado de cemento en su interior dando como resultado una estructura de cemento forrada de unicel.

**Sistema constructivo tradicional:** Sistema constructivo constituido por elementos superpuestos (ladrillos, bloques de concreto, piedra, entre otros) dando como resultado una estructura de muros de bloques unidos con mortero y vigas de concreto.

### CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

#### 1.1. Introducción

El deterioro ambiental es una problemática global que diversas industrias han decidido tomar como área de oportunidad buscando la mejora continua en su organización puesto que implica diversos aspectos como la disminución de consumo y el incremento de la eficiencia energética, convirtiéndose así en una tarea global para la organización, permitiendo la integración de las diferentes áreas para el cumplimiento de la meta propuesta, abarcando aspectos tanto económicos, sociales y medioambientales.

Una de las técnicas de gestión ambiental es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). En 1993, la Sociedad de Toxicología y Química Ambientales (SETAC, por sus siglas en inglés) lo define como “un proceso para evaluar las descargas ambientales asociadas con un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando los materiales, la energía utilizada y los residuos liberados”. La familia de normas encargadas de indicar el procedimiento para la implementación de este análisis es la ISO 14040-Gestión Ambiental-Análisis del ciclo de vida. Según lo explicado por Wendell (1996), Van Hoof & Saer (2008), el ACV facilita la investigación del impacto ambiental de un proceso, específicamente de las emisiones atmosféricas, descargas de aguas residuales, generación de residuos sólidos y consumo energético. Esto lo destaca de otros métodos, como los eco-indicadores y matriz MET, debido a que proporciona el conocimiento de un impacto ambiental en diferentes aspectos.

Bretz & Frankhouser (1996) y Dahllöf (2003) mencionan que diversas compañías han utilizado esta herramienta para mejorar el desempeño ambiental de sus actividades productivas. Esta idea se ve sustentada según lo explicado en Mohammed (2000), quien fundamenta que el ACV brinda la oportunidad de mejorar la competitividad de la organización pues implica la adopción de políticas y prácticas sostenibles. Según lo mencionado por Bovea & Vidal (2004), De Monte *et al.* (2005) y Ardente *et al.* (2005) la aplicación del ACV se encuentra enfocada a productos. DEFRA (2000) menciona que realizar un ACV es una manera muy completa para el desarrollo de estándares

## CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

---

ambientales. Sin embargo, se considera que es importante enfocar este análisis a procesos, especialmente en la industria de la construcción que por la naturaleza de sus actividades es contaminante.

Según lo explicado por Azapagic & Clift (1999) el ACV cumple diversos objetivos, entre ellos convertirse en una herramienta de selección de procesos o productos entre múltiples alternativas. Además, que según lo mencionado en PréConsultants (s.f.), SimaPro es uno de los softwares más completos para realizar el ACV debido a la amplia librería de procesos con los que cuenta y de acuerdo con Monroy, Van Hoof & Espinosa (1999) clasifican los impactos ambientales en eutrofización, destrucción de la capa de ozono, ecotoxicidad, acidificación, smog de verano, toxicidad humana, uso de energía y generación de residuos sólidos.

Considerando esto, una constructora en la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, México, busca conocer si el sistema constructivo de poliestireno expandido que está implementando tiene menor impacto ambiental que el sistema estructural tradicional. El ACV de los dos sistemas estructurales permitirá conocer aquel con menor impacto ambiental. Esto es importante debido a que el EPS es uno de los residuos sólidos con mayor impacto ambiental puesto que, según la Asociación de Industrias Químicas, el EPS tarda entre 500 y 800 años en degradarse. De acuerdo a este contexto, el objetivo del proyecto es elaborar el análisis del ciclo de vida de una vivienda residencial usando dos sistemas constructivos: poliestireno expandido y tradicional, por medio del software SimaPro para determinar los impactos ambientales en Huajuapán de León, Oaxaca, México.

La investigación ayudará a la constructora de Huajuapán de León a ser líder en construcción de viviendas familiares que minimicen el impacto ambiental, además de ser un punto de referencia para otras constructoras que decidan innovar en la industria de la construcción. Esto es sustentado con lo explicado en Azapagic (1999), debido a que actualmente se debe tener en consideración el impacto ambiental, buscando la reducción de los residuos generados.

### 1.2. Planteamiento del problema

El cambio climático del planeta se ha incrementado de forma deliberada en las últimas décadas. Por tal razón, delegar a las futuras generaciones un medio ambiente sano es centro de atención, en consecuencia, se busca que los productos o servicios tengan un menor impacto ambiental. Romero Gil (2019) señala que la industria de la construcción es una de las industrias que emite mayor cantidad de contaminantes al cielo, agua y tierra en cada una de sus etapas. Además, de acuerdo con lo mencionado por Arenas (2007), “el sector de la construcción es responsable de consumir 50% de los recursos naturales, pues se explotan montañas para extraer hierro, sílice y óxido de aluminio para producir cal y cemento además de deforestar bosques para hacer cimbra, casas o muebles; el 40% de la energía, que incluye la energía para calentar hornos industriales y el transporte de recursos para producir cemento, acero, cal, tabiques, vidrio, aluminio, entre otros y el 50% del total de los residuos generados que surgen desde la extracción de minerales hasta la demolición del edificio por haber concluido su ciclo de vida, desprendiendo gases contaminantes y residuos sólidos”. Desde esta perspectiva, la industria de la construcción es un punto de interés debido a que es una industria con alto impacto ambiental en cada uno de sus procesos. Según Ochoa, Güereca & Reyes, la vivienda es una edificación estratégica debido a que en ella confluyen diversos factores. Considerando esto surge la interrogante: ¿qué sistema constructivo tiene menor impacto ambiental, el de EPS o el tradicional? Con apoyo de una constructora de la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, México se busca dar respuesta a dicha interrogante, estudiando el sistema constructivo de EPS y el sistema constructivo tradicional de mampostería confinada que utiliza tabique rojo, suponiendo que el sistema constructivo de EPS tiene menor impacto ambiental respecto al otro sistema. Este análisis será de utilidad debido a que, según Ochoa, Güereca & Reyes (2013), no se ha realizado un estudio ambiental previo de estos sistemas constructivos de vivienda en el país.

### 1.3. Justificación

El ACV de los dos sistemas constructivos (EPS y tradicional) permitirá conocer el sistema constructivo con menor impacto ambiental. Esto es importante debido a que, según la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), citado por Digital Bricks (2018) “se estima que el responsable de más del 50% de las emisiones contaminantes en el mundo es el sector de la construcción, pues también hay que tomar en cuenta sus procesos de fabricación de materiales, el transporte, los trabajos de construcción por sí mismos y el uso que se les da a las edificaciones una vez terminadas. [...] Los procesos tradicionales de edificación requieren el uso de combustibles fósiles y demanda energética, que son las principales fuentes de liberación de CO<sub>2</sub>, lo que ocasiona que el sector de la construcción tenga un fuerte impacto ambiental”. Contemplando que esta industria también tiene gran participación en el sector económico puesto que según el informe dado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2009), en México, esta industria aportaba el 7.2% del Producto Interno Bruto (PIB) y que el 46% de las constructoras están enfocadas a la edificación de viviendas. Aunado al enfoque de estudio, cabe resaltar que, según lo mencionado por Ochoa, Güereca & Reyes (2013), la vivienda es una edificación estratégica debido a que en ella confluyen aspectos como la energía, agua potable y sistemas de saneamiento. Además de que los estudios realizados en el país han sido desarrollados sobre alguno de los materiales del inventario de ciclo de vida y no del sistema constructivo. Esto hace que el enfoque de este estudio brinde un panorama más completo del impacto ambiental de un sistema constructivo de una vivienda.

### 1.4. Hipótesis

El impacto ambiental de una vivienda residencial con sistema constructivo tradicional de mampostería confinada que utiliza tabique rojo es mayor que el de una vivienda residencial con sistema constructivo de poliestireno expandido.

### 1.5. Objetivos

#### 1.5.1. Objetivo general.

Elaborar el análisis del ciclo de vida de una vivienda residencial usando dos sistemas constructivos: poliestireno expandido y tradicional, por medio del software SimaPro para determinar los impactos ambientales en Huajuapán de León, Oaxaca, México.

#### 1.5.2. Objetivos específicos.

Los objetivos específicos del proyecto son:

1. Adaptar las fases de la ISO 14040 para el caso de estudio.
2. Establecer las características de cada sistema constructivo.
3. Recopilar los inventarios correspondientes a cada sistema constructivo.
4. Homogeneizar la información de los inventarios de los sistemas constructivos con el software SimaPro.
5. Obtener los indicadores de la Declaración Ambiental de Producto (EPD) mediante el uso del software SimaPro para cada sistema constructivo.
6. Interpretar los indicadores de los impactos ambientales de ambos sistemas constructivos.

### 1.6. Metas

Las metas del proyecto son:

1. Realizar el análisis del ciclo de vida del sistema constructivo de poliestireno expandido y el sistema constructivo tradicional de una vivienda.
2. Recopilar los datos del inventario del ciclo de vida de cada sistema constructivo de poliestireno expandido y el sistema constructivo tradicional.
3. Utilizar el software SimaPro para determinar el impacto ambiental del sistema constructivo de poliestireno expandido y el sistema constructivo tradicional.

### 1.7. Limitaciones

Las limitaciones para desarrollar el proyecto de investigación son los siguientes:

1. El proyecto quedó sujeto a la información proporcionada por la constructora en Huajuapán de León, Oaxaca, de los inventarios del ciclo de vida de los sistemas constructivos.
2. El proyecto se centró en las etapas de transporte de material, construcción de la vivienda (transformación) y uso, específicamente, en climatización.
3. Las partes contempladas de ambos sistemas constructivos es losa de cimentación, muro, losa de azotea y firme de concreto.
4. El proyecto no recopiló la información de los recursos utilizados en la etapa de extracción de recursos debido a que el software SimaPro contempla la huella ambiental de cada producto desde su elaboración.
5. La base de datos que se utilizó es Ecoinvent V3 y el método de evaluación es la Declaración Ambiental del Producto, EPD por sus siglas en inglés, obteniendo los impactos ambientales en sus ocho categorías principales: agotamiento de la capa de ozono, agotamiento abiótico de los recursos, eutrofización, oxidación fotoquímica, acidificación, escasez de agua, calentamiento global y agotamiento abiótico de los combustibles fósiles.

### CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Orígenes

El Análisis del Ciclo de Vida surge como una necesidad de mejorar la eficiencia de las actividades de producción, disminución del consumo energético y de la materia prima. Esta necesidad comienza a surgir de forma simultánea en Estados Unidos y Europa, siendo el primero el más reconocido. De acuerdo con lo explicado por Romero (2003), el registro oficial del primer ACV fue en el año 1969 para la empresa Coca-Cola, este estudio buscó comparar el consumo de recursos para la fabricación de envases que ocupaban para sus bebidas. Estudios similares se realizaron en Europa en cuestión de energía consumida en la fabricación de envases de bebidas. Trama & Troiano (2001) sustentan que el enfoque que se brindó a estos estudios en esas décadas fue por la crisis del petróleo, lo cual se reflejó en buscar la disminución del consumo energético.

Según lo explicado por Haya (2016), en la década de los 80, el impacto ambiental comienza a ser un tema de interés, por lo tanto, se crea un método para cuantificar el impacto ambiental en calentamiento global y agotamiento de recursos y se comienzan a desarrollar los primeros softwares. En 1993 se formuló el Código de prácticas para ACV, con la finalidad de homogeneizar los estudios realizados anteriormente. Con el paso del tiempo la Organización Internacional de Normalización, ISO por sus siglas en inglés, apoyó esta idea y comenzó a establecer una estructura de trabajo para realizar el ACV. Uno de los aspectos que destaca del ACV es que este tipo de estudios implica la participación de las diferentes áreas de una empresa, buscando la disminución de la huella ambiental del producto o servicio que la misma genere. Los diversos ACV que se han realizado, han sido enfocados a una etapa del ciclo de vida del sistema o producto debido a que es una actividad laboriosa y costosa para la organización, especialmente en la etapa de recopilación de los inventarios del ciclo de vida, puesto que se debe obtener la información precisa de dichos inventarios y posteriormente se debe homogeneizar con la base de datos del programa a utilizar. Según lo mencionado por Buruaga & Zúfia (1996), han sido aplicados mayoritariamente en la industria química y del plástico, materiales de construcción y sistemas energéticos.

### 2.2. Ciclo de vida del producto

El ciclo de vida de un producto comprende todas las etapas necesarias para la creación del mismo, así como sus desechos, es decir, desde la obtención de los insumos hasta su disposición final, estas etapas se muestran en la Figura 1, según lo explicado por Aranda (2010).

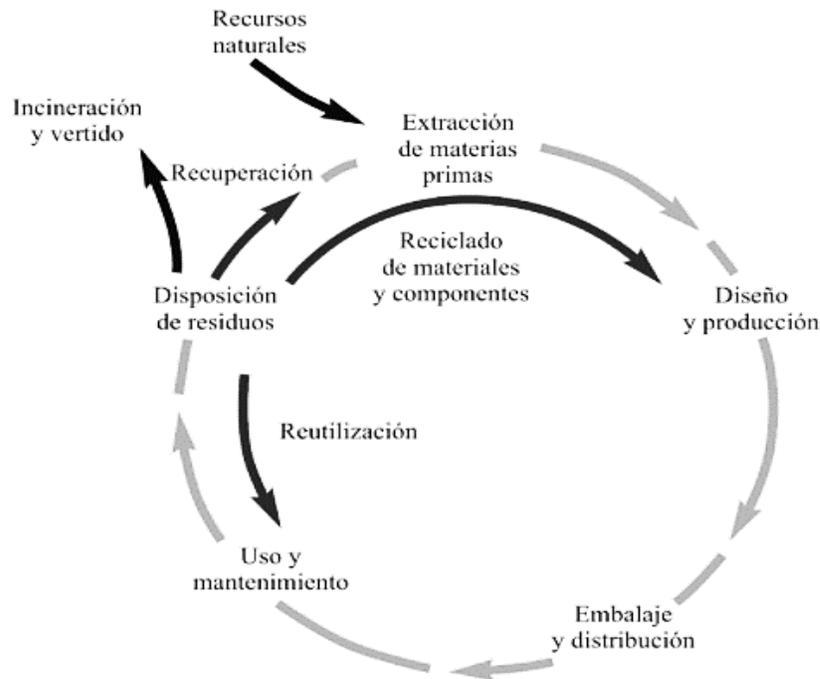


Figura 1 Etapas del ciclo de vida.

Nota. Recuperado de “*Ecodiseño y análisis de ciclo de vida*” (p. 17), por U.A., Alfonso, 2010. Prensas Universitarias de Zaragoza.

La norma ISO 14040 (2006) lo define como “etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final”. De acuerdo con Aranda (2010), las etapas del ciclo de vida son:

- Extracción de materias primas. Es aquella operación que tiene por objeto obtener los insumos directamente en la naturaleza, desde un yacimiento, bosques, minas, extensiones agrícolas o pozos de petróleo.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

---

- Diseño y producción. Esta etapa busca idear el producto o proceso que se tiene planeado, así como los procesos que serán necesarios para obtenerlo, una vez aprobado el diseño se lleva a cabo la elaboración del mismo de acuerdo a la etapa de diseño.
- Embalaje y distribución. El embalaje hace referencia al tipo de empaquetado o cuidado que se debe brindar durante el recorrido que haga el producto hasta llegar al consumidor final.
- Uso y mantenimiento. Esta etapa contempla que el consumidor final tiene consigo el producto y está haciendo uso del mismo. En caso que sea necesario brindar mantenimiento al producto, se considera el mismo para que el producto siga funcionando de forma correcta.
- Disposición de residuos. En este apartado se considera que el producto llegó a su fin de vida y se busca qué hacer con los desechos que quedaron del mismo.

Estas etapas se van a adaptar de acuerdo a la industria a la que estén enfocadas, sufriendo ligeras alteraciones para lograr la comprensión del ciclo de vida del producto a estudiar. Molina (2014) menciona que las etapas del ciclo de vida para la construcción de una obra o edificio abarcan desde la extracción de los recursos hasta la demolición y disposición final (ver Figura 2).

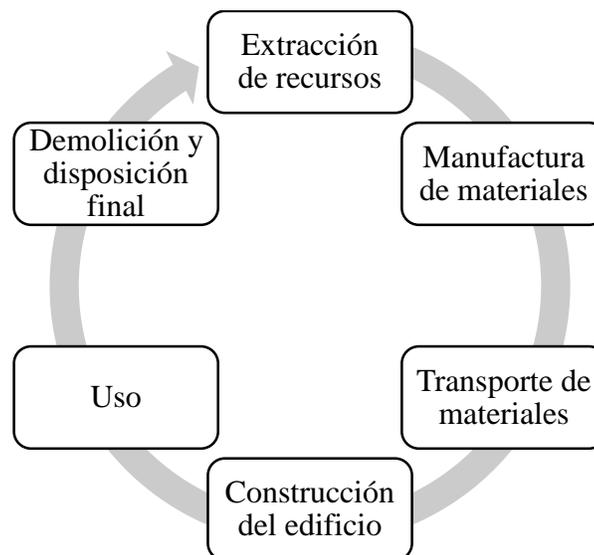


Figura 2 Etapas del ciclo de vida de una edificación.

Nota. Adaptado de “Análisis de Ciclo de Vida: Edificaciones”, por Molina (2014).

Analizando un producto desde la perspectiva ambiental es importante considerar las etapas del ciclo de vida del producto, esto es conocido como el “Pensamiento de Ciclo de Vida de producto”, el cual no solo abarca la etapa de producción de los bienes o los procesos involucrados en el mismo, sino que considera aspectos económicos, sociales y medioambientales del producto (bien o servicio) durante todo su ciclo de vida. Este pensamiento conlleva una integración de las diversas áreas que conforman la organización, buscando maneras de hacer más rentables y eficientes a la misma mediante el uso de herramientas que permitan considerar todo el proceso global, de manera tal que se combinan el Pensamiento de Ciclo de Vida con la Ingeniería Concurrente, siendo dos aspectos fundamentales para la mejora continua de la organización.

De acuerdo con Aranda (2010), este pensamiento se basa en la implementación de la filosofía de las 6 RE:

- RE-pensar el producto y sus funciones.
- RE-parar. Hacer que un producto sea fácil de reparar.
- RE-emplazar sustancias dañinas por alternativas más seguras.
- RE-usar. Diseñar los productos de forma que sus piezas puedan ser reutilizables.
- RE-ducir energía, emisiones, consumo de materiales e impactos socioeconómicos durante todo el ciclo de vida.
- RE-ciclar. Seleccionar materiales que se puedan reciclar.

Al complementar los enfoques del Pensamiento de Ciclo de vida e Ingeniería Concurrente, se obtienen aspectos incluidos en la Gestión de Ciclo de Vida, que permite a una organización gestionar el rendimiento de la sostenibilidad de los bienes, dando la oportunidad a la organización de implementar sistemas y políticas que impliquen un cuidado ambiental pero también mejoras en otras áreas a la organización, volviéndose así una mejora continua.

### 2.3. Normativa del ACV

La familia de normas que rigen el tema del ACV es la ISO 14040, la cual establece el protocolo a seguir para realizar dicho análisis. De acuerdo a esta norma el ACV es “una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando inventarios de entrada y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto con los objetivos del estudio”.

Para ser precisos, las normas relacionadas con el ACV son:

- ISO 14040 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006).
- ISO 14044 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y Directrices (ISO 14044:2006).

La ISO 14040 indica las fases necesarias para realizar el ACV (ver *Tabla 1*), que son los siguientes:

Tabla 1 Descripción de las etapas del ACV.

<b>FASE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Definición del objetivo y alcance	Esto va a depender del tema y del uso previsto del estudio. También se definen los límites del análisis, es decir, la profundidad y amplitud del ACV.
Análisis del inventario	Se recopilan los datos de entrada/salida del sistema de estudio.
Evaluación del impacto ambiental	Se proporciona información adicional para ayudar a evaluar los resultados del inventario del ciclo de vida (ICV) de un sistema del producto a fin de comprender mejor su importancia ambiental.
Interpretación	Se resume y discute el resultado del ICV, se dan conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo a lo definido en la primera etapa.

Nota. Adaptado de “ISO 14040-2006 Gestión ambiental-Análisis del ciclo de vida-Principios y marco de referencia” por ISO, 2006.

La interacción entre las etapas es de forma constante, buscando afinar los detalles conforme se va conociendo los sistemas (ver Figura 3).

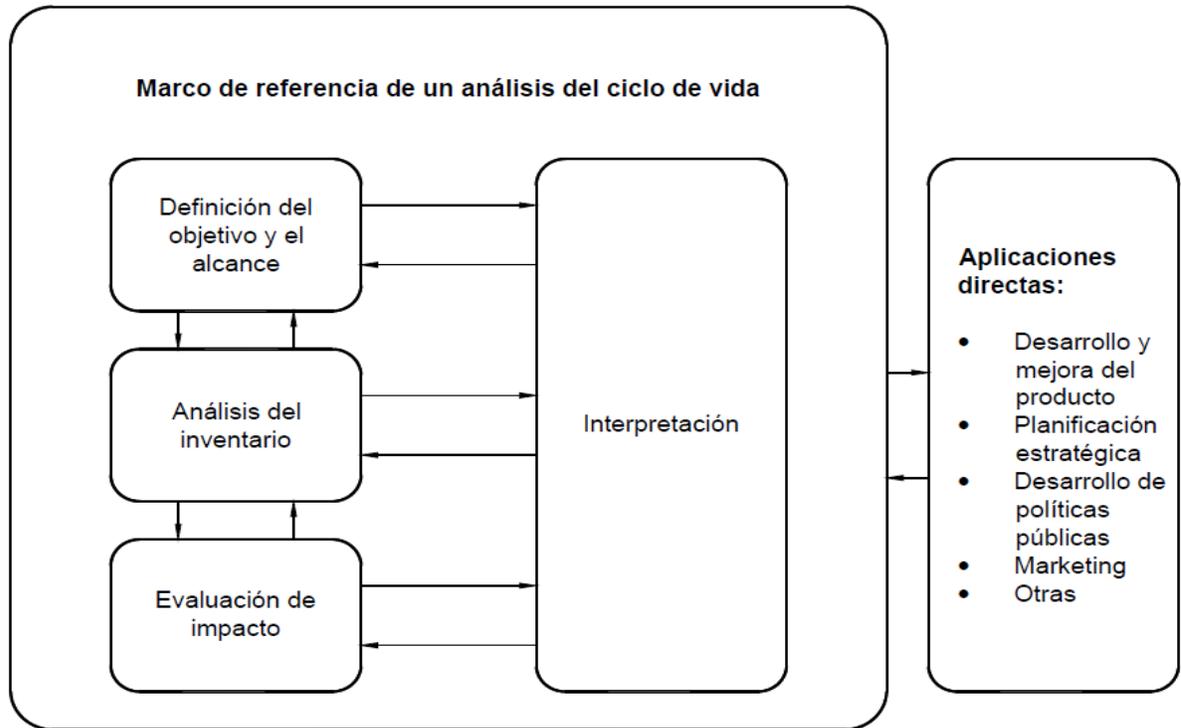


Figura 3 Fases del ACV según ISO 14040.

Nota. Recuperado de “ISO 14040-2006 Gestión ambiental-Análisis del ciclo de vida-Principios y marco de referencia” por ISO, 2006.

En la primera fase de esta metodología, se define el objetivo y el alcance de la investigación, detallando los límites del estudio, profundidad y amplitud.

En la segunda fase, se recopila la información necesaria (datos de entradas y salidas) para realizar el ACV de acuerdo al objetivo y alcance definido en la fase uno. Esta fase es de vital importancia debido a que la información obtenida debe ser exacta en cantidad y tipo de material. La ISO 14040 menciona que no hay un método único para realizar un ACV, por lo tanto, para este caso de estudio se seleccionó el uso de un software según lo mencionado por IHOBE (2002).

Posteriormente, se hace homogénea la información del inventario de cada sistema con la base de datos proporcionada por el software SimaPro.

En la tercera fase, se utiliza el software SimaPro como herramienta de cálculo para determinar el impacto ambiental de los sistemas constructivos, en el cual se ingresan los datos finales obtenidos en la segunda fase.

Por último, en la fase de interpretación se procesan los datos obtenidos en la fase anterior para poder brindar una interpretación y conclusión de dichos resultados.

### **2.4. Métodos de evaluación del impacto ambiental**

Entre los principales métodos que se utilizan para medir el impacto ambiental se encuentran el consumo de la energía eléctrica, la huella de carbono, matriz MET (materiales, energías y emisiones tóxicas), Eco-indicadores y softwares, siendo los tres últimos los más utilizados.

En el caso de la energía eléctrica no considera la materia prima ni residuos sólidos, solamente se enfoca en el consumo de energía eléctrica por parte de diversos procesos, buscando disminuir el tiempo de uso de las mismas para así disminuir dicho consumo energético.

La huella de carbono busca cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas de forma directa o indirecta por el producto, servicio, persona o ente de estudio, durante el ciclo de vida del mismo, expresando su impacto ambiental en términos del bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que es la unidad de medida utilizada para calcular el potencial de calentamiento global.

Los métodos más utilizados actualmente son la matriz MET, Eco-indicadores y softwares. La diferencia de éstos métodos radica principalmente en lo cuantitativo o cualitativo de los datos obtenidos y el grado de complejidad (ver Figura 4).

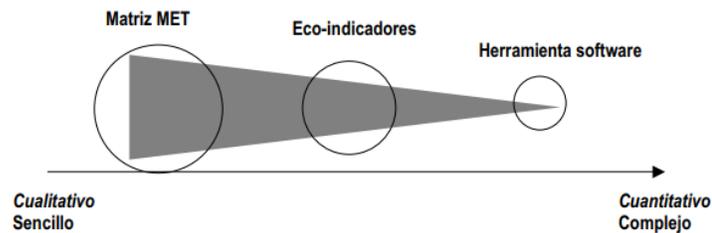


Figura 4 Grado de complejidad de los métodos de evaluación.

Nota. Recuperado de “*Ecodiseño y análisis de ciclo de vida*” (p. 39), por U.A., Alfonso, 2010. Prensas Universitarias de Zaragoza.

### 2.4.1. Matriz MET.

La matriz MET, conocida así porque es un método cualitativo o semi-cualitativo que estudia las entradas y salidas en cada etapa del ciclo de vida del bien en términos de materiales, considerando los materiales, energía y emisiones tóxicas en cada etapa del ciclo de vida (ver Figura 5). La característica principal de este método es que prioriza los aspectos ambientales con base en los conocimientos ambientales.

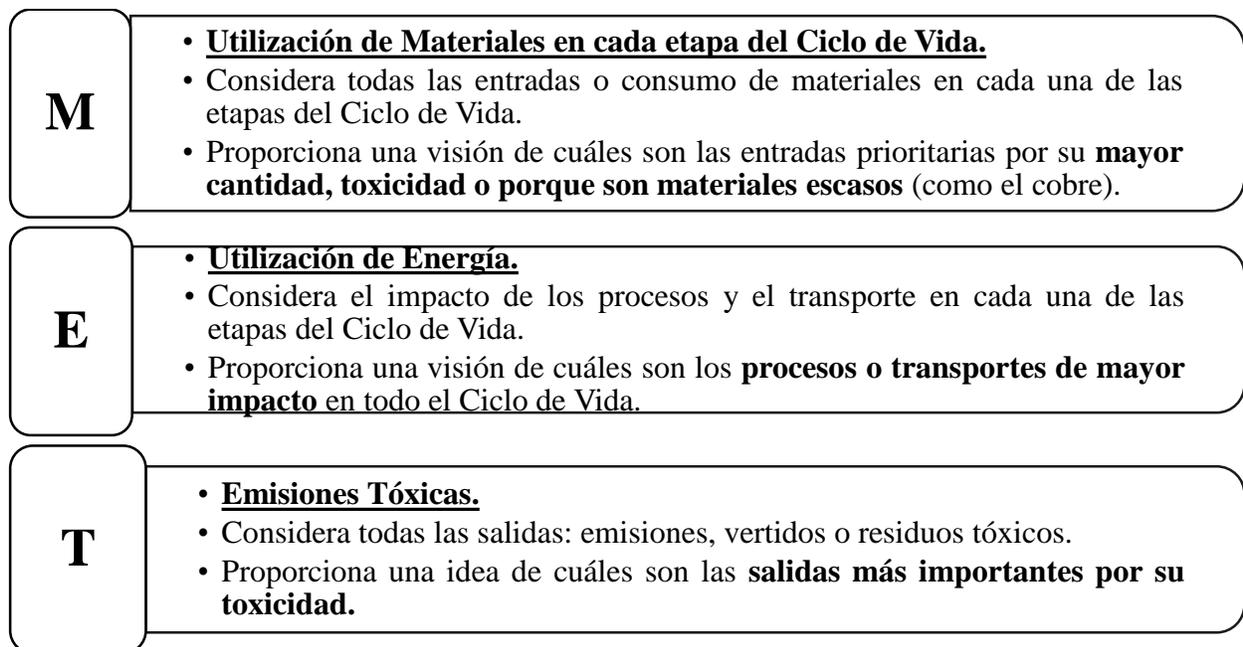


Figura 5 Diagrama de descripción de la matriz MET.

Nota. Adaptado de “*Ecodiseño y análisis de ciclo de vida*” (p. 28), por U.A., Alfonso, 2010. Prensas Universitarias de Zaragoza.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Esta matriz permite observar de forma simplificada los diferentes aspectos a estudiar según las etapas del Ciclo de Vida del producto. A continuación se muestra un ejemplo de una matriz MET de una cafetera, que permite observar la aplicación de dicho método (ver Tabla 2 y Tabla 3).

Tabla 2 Ejemplo de la matriz MET: cafetera. Etapas de obtención y consumo de materiales, producción y distribución.

	<b>USO DE MATERIALES</b> <b>M</b>	<b>USO DE ENERGÍA</b> <b>E</b>	<b>EMISIONES TÓXICAS</b> <b>T</b>	
Obtención y consumo de materiales y componentes	Cobre (material agotable) (0.5kg)	Alto contenido de energía en materiales (Al, Cu)	Piroretardantes en tarjetas de circuitos impresos	
	Acero (0.3 kg)			Licuantes para moldeo por inyección
	Aluminio (0.3 kg)	Poliestireno: emisiones de benceno		
	Poliestireno (PS) (1 kg)		Emisiones debidas al pintado y encolado	
	PVC (0.1 kg)			
Producción en fábrica	Cristal (0.4 kg)	Energía en procesos varios (moldeo , extrusión de Al, soldadura, ...)	Residuos metálicos y plásticos (recortes y rechazos)	
	Circuitos impresos (0.1 kg)			Restos de lubricantes y desengrasantes para las máquinas
	Materiales auxiliares (material de soldadura, desengrasantes y lubricantes, ...)			
Distribución	Embalajes del producto (bolsa de polietileno: 0.3 kg y cartón: 0.1 kg)	Gasóleo para transporte (camiones) (0.3 kWh)	Emisiones de la combustión del gasóleo	
	Cartón de reembalaje Manual de instrucciones (0.4 kg)			Restos de embalajes: Bolsa de polietileno (reciclable) (0.3 kg) Cartón (reciclable) (0.1 kg)

Nota. Adaptado de “*Ecodiseño y análisis de ciclo de vida*” (p. 31), por U.A., Alfonso, 2010. Prensas Universitarias de Zaragoza.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Tabla 3 Ejemplo de la matriz MET: cafetera. Etapas de uso y sistema de fin de vida.

	<b>USO DE MATERIALES</b> <b>M</b>	<b>USO DE ENERGÍA</b> <b>E</b>	<b>EMISIONES TÓXICAS</b> <b>T</b>
	Operación:	Consumo de energía (375 kwh):	Residuos consumibles (filtro con borra de café, ...) (72.3 kg)
	Filtros de papel (7.3 kg)	Calentamiento (281.25 kwh)	Aguas residuales de limpieza (10.950 l)
	Café utilizado a lo largo de 5 años (65 kg)	Mantenimiento (93.75 kwh)	Emisiones derivadas del consumo de energía (2305 kg CO <sub>2</sub> )
Uso o utilización	Materiales de limpieza Agua para limpieza (10.950 l)		
	Mantenimiento:	Transporte de proveedores de mantenimiento	Restos de piezas sustituidas
	Piezas que se rompen fácilmente		
			Reciclaje: Cristal (0.4 kg) Plásticos (1.1 kg) Manual de instrucciones (0.4 kg)
Sistema de fin de vida			Vertido: Tarjeta de circuitos impresos (0.1 kg) Cobre (0.05 kg) Aluminio (0.3 kg) Acero (0.3 kg)

Nota. Adaptado de “*Ecodiseño y análisis de ciclo de vida*” (p. 31), por U.A., Alfonso, 2010. Prensas Universitarias de Zaragoza.

Para elaborar esta matriz se necesita la colaboración de los expertos en cada área, es decir, la colaboración de los encargados de almacén, logística y ventas para obtener los datos referentes al ciclo de vida del producto. Estos colaboradores van a incrementar o disminuir según la

organización. Para determinar qué elementos tienen prioridad en el estudio es importante utilizar las reglas de oro, que, según lo mencionado en Aranda (2010), son:

- Para productos con enchufe, es de interés conocer el consumo de energía eléctrica.
- Para productos que consumen altos niveles de energía eléctrica para su obtención, se recomienda multiplicar el peso por 10 para darle prioridad respecto a otros materiales.

Es recomendado el uso de la matriz MET bajo las siguientes circunstancias:

- Es la primera ocasión que se trabaja con Ecodiseño.
- Se cuenta con el apoyo de un experto en Ecodiseño o consultor ambiental.
- El caso de estudio no es complejo.
- Cuando no existan Eco-indicadores relevantes para materiales o procesos del producto.

### **2.4.2. Eco-indicadores.**

Bono et al. (2017) refieren que éste método destaca porque establece unos valores que miden el impacto ambiental en cierta unidad. El Eco-indicador es una herramienta cuantitativa más precisa que la matriz MET, pues proporciona resultados cuantitativos gracias a un proyecto desarrollado por la colaboración de industrias punteras en diferentes sectores, centros de investigación independientes y el gobierno holandés. Como resultado de esa colaboración se obtuvieron unas tablas de valores numéricos que expresan el impacto ambiental en función de la cantidad o el volumen de cada material o proceso.

Dentro de los indicadores, destaca el eco-indicador 99, que divide el impacto ambiental en tres etapas asignando un puntaje: producción (materiales, procesos y transporte), uso (transporte, energía y materiales auxiliares) y desecho. Se multiplica la cantidad del material por el indicador obtenido, al final se hace la sumatoria de puntos por todas las etapas y se obtiene el impacto ambiental total. En este método se pueden tener indicadores con valores negativos, esto sucede debido a que durante el proceso pueden surgir productos intermedios que pueden reutilizarse o reciclarse. A continuación, se muestra un ejemplo de una matriz MET de una cafetera, que permite observar la aplicación de dicho método (ver Tabla 4).

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Tabla 4 Ejemplo de la aplicación del Ecoindicador 99: cafetera.

<b>PRODUCTO O COMPONENTE: CAFETERA</b>			
<b>PRODUCCIÓN (Materiales, procesos y transporte)</b>			
<b>Material o proceso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
Poliestireno expandible (EPS)	1 kg	360	360
Modelado por inyección	1 kg	21	21
Aluminio 0% rec. (Al)	0.1 kg	780	78
Extrusión-aluminio	0.1 kg	72	7.2
Acero	0.3 kg	86	25.8
Vidrio (blanco)	0.4 kg	58	23.2
Calor por gas (modelado)	4 MJ	5.3	21.2
PVC flexible	0.1 kg	240	24
Cobre (Cu)	0.05 kg	1400	70
Transporte de circuito impreso	0.9 tkm	72	64.8
<b>TOTAL</b>			<b>695.2</b>
<b>USO (Transporte, energía y materiales auxiliares)</b>			
<b>Material o proceso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
Transporte (camión 28 t)	10 tkm	22	220
Cartón (embalaje)	0.4 kg	69	27.6
Bolsa Polietileno (PET)	0.01 kg	380	3.8
Papel (Manual de instrucciones)	0.04 kg	96	3.84
Electricidad a bajo voltaje	375 kWh	37	13875
Papel (filtro)	7.3 kg	96	700.8
<b>TOTAL</b>			<b>14831.04</b>
<b>DESECHO (Para cada tipo de material)</b>			
<b>Material o proceso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
Residuos urbanos, PS	1 kg	2	2
Residuos urbanos, acero	0.4 kg	-5.9	-2.4
Residuos urbanos, papel	7.3 kg	0.71	5.2
Residuos urbanos, PVC	0.1 kg	10	1
Residuos urbanos, aluminio	0.1 kg	-23	-2.3
Residuos urbanos, vidrio	0.4 kg	-6.9	-2.76
<b>TOTAL</b>			<b>0.74</b>
<b>TOTAL (TODAS LAS FASES)</b>			<b>15526.98</b>

Nota. Adaptado de "Ecodiseño y análisis de ciclo de vida" (p. 31), por U.A., Alfonso, 2010. Prensas Universitarias de Zaragoza.

Para determinar los principales aspectos ambientales se puede ver aquellos aspectos que tengan mayor valor numérico en el resultado e identificar en qué fase del Ciclo de Vida del producto intervienen. De este modo, la organización podrá identificar y priorizar las áreas de oportunidad en cuestión del aspecto ambiental del producto.

Es recomendado el uso de los Eco-indicadores bajo las siguientes circunstancias:

- Es la primera ocasión que se trabaja con Ecodiseño, se recomienda combinar con la matriz MET.
- No se cuenta con el apoyo de un experto en Ecodiseño o consultor ambiental.
- El caso de estudio no es complejo.
- Cuando existan datos de los Eco-indicadores relevantes para materiales o procesos del producto.

### **2.4.3. Softwares.**

Los softwares para el ACV, son las herramientas más completas debido a que permiten que el análisis sea más detallado y, en su mayoría, conjuntan diferentes métodos. Actualmente, existe una gran variedad de softwares para el cálculo del impacto ambiental, los cuales son considerados la herramienta de cálculo más completa en comparación con los otros métodos y, por tal razón, son conocidos como ACV. La desventaja que presenta esta herramienta es que requiere una inversión costosa para adquirir la licencia de los softwares. Aunado a lo anterior, requiere que el usuario dedique tiempo para recibir las capacitaciones necesarias para aprender sobre el uso del mismo.

Algunos de los softwares utilizados se muestran en la Tabla 5, de acuerdo a lo mostrado por la Sociedad Pública Gestión Ambiental (2002), que proporciona una calificación al grado de complejidad que tenga dicho software de acuerdo a la interacción usuario-interfaz.

Tabla 5 Softwares para ACV.

<b>SOFTWARE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>GRADO DE COMPLEJIDAD</b>
Eco-it	Herramienta sencilla para el ACV. Evaluación con base en el método eco-indicador 95. Proporciona valores orientativos no absolutos.	Bajo
Ecoscan	Herramienta sencilla para el ACV. Evaluación con base en el método eco-indicador 95. Permite ampliar la base de datos de partida.	Bajo
SimaPro	Herramienta completa para el ACV. Evaluación con base en distintas metodologías.	Medio a alto
Idemat	Herramienta sencilla para el ACV. Orientada a la selección de materiales y procesos.	Alto

Nota. Adaptado de “*Ecodiseño y análisis de ciclo de vida*” (p. 17), por U.A., Alfonso, 2010. Prensas Universitarias de Zaragoza.

Es recomendado el uso de software bajo las siguientes circunstancias:

- Cuando se desee fundamentar la priorización ambiental cuantitativamente.
- Cuando se desee comparar el impacto ambiental de diferentes alternativas para un producto.
- El caso de estudio sea complejo, pues utilizar el Eco-indicador implicaría una serie larga de cálculos.

### **2.5. Importancia del ACV en la industria de la construcción**

La industria de la construcción es, por naturaleza, de las industrias que tienen mayor impacto ambiental negativo, por esta razón es importante que se realice un análisis del ciclo de vida de sus sistemas constructivos. Diversos autores como Morledge & Jackson (2001) consideran que el sector de la construcción genera una gran cantidad de contaminantes, incluidos el ruido, aire, desechos sólidos y agua.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

---

Esta industria, en busca de satisfacer las necesidades de sus clientes, cumplir la normativa y disminuir su impacto ambiental ha buscado materiales alternativos para utilizar en la construcción de instalaciones, pero como tal, la mayoría de las constructoras no tiene certeza de que sus alternativas tienen menor impacto ambiental que el sistema constructivo que actualmente utilizan. Debido a que un análisis del ciclo de vida no solo considera la construcción de la instalación, para este caso, sino que también el impacto que esta tiene a lo largo de su ciclo de vida.

Para conocer los efectos ambientales que tiene la industria de la construcción, Romero Gil (2019) recomienda imaginar un escenario donde se va a construir un edificio o carretera, de entrada, es claro identificar que los efectos ambientales serán diferentes debido a que implican diferentes etapas, pero algo que se puede identificar es que ambas construcciones tienen acciones en común. Estas acciones principalmente son:

- Movimiento de tierras: esta acción implica la generación de polvo y el depósito de tierras sueltas momentáneamente, las cuales pueden ser dispersadas por el viento o arrastradas por el agua.
- Generación de residuos: este apartado considera sólidos inertes, como aquellos materiales extraídos que no se utilizaron en la construcción, los materiales de construcción restantes no utilizables como PVC, pedazos de varillas, entre otros.
- Uso de maquinaria pesada y tráfico de vehículos en general: en la fase de construcción es necesario el uso de maquinaria y vehículos para el transporte de materiales, los cuales implican el uso de combustibles fósiles que darán lugar a emisiones atmosféricas (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e hidrocarburos), ruidos y vibraciones.
- Escapes de hidrocarburos, aceites, etc.: esto puede evitarse si se da el mantenimiento adecuado a los vehículos y maquinaria para prevenir este hecho.

Las acciones anteriormente mencionadas, generarán efectos en el ecosistema donde se lleve la construcción, pero, Romero Gil (2019) destaca que, estos efectos van a depender tanto del tipo de ecosistema como del tipo de contaminante emitido.

### 2.6. El EPS como alternativa para la construcción

El desarrollo de nuevas tecnologías en este sector se ha incrementado en la actualidad, lo cual permite que se creen nuevas alternativas para el desarrollo de sistemas constructivos, especialmente de viviendas, buscando que estas sean pasivas con el medio ambiente. Para ello han tomado como alternativa el uso del unicel o EPS, el cual suelen utilizarlo como sistema de aislamiento de ruido y calor. Otro de los usos que se le está comenzando a dar a este material es como bloques para la construcción de viviendas, en el caso de la constructora de Huajuapán de León, utiliza estos bloques que va ensamblando y rellenando con concreto (ver Anexo C).

El EPS tiene ciertas propiedades de acuerdo a Horvarth (1999):

- Aislamiento térmico: debido a la gran cantidad de aire (95% aproximadamente).
- Amortigua vibraciones: la alta relación de rigidez con respecto a densidad hace que el EPS amortigüe vibraciones de pequeña amplitud y ruido producido por los motores de vehículos o ruido del tren.
- Relleno de peso ligero: El material EPS en particular puede tener una densidad tan baja como  $10 \text{ kg/m}^3$ , que es menos de 1% de los suelos y rocas. A pesar de su baja densidad, el material tiene una rigidez tal que soporta vehículos, trenes, aviones y construcciones ligeras.

De acuerdo a lo mencionado por Pérez et al (2012); uno de los primeros usos del EPS en la industria de la construcción fue en la construcción de carreteras en Noruega, por el proyecto “Acción de las heladas en los suelos”, el problema que presentaban dichas carreteras es que tenían asentamientos por las heladas, entonces utilizaron bloques de EPS con un recubrimiento con una membrana impermeable debajo del pavimento para disminuir el hundimiento de la carretera (ver Figura 6).



Figura 6 Uso del EPS en construcción de carretera en Noruega.

Nota. Recuperado de “*Ecodiseño y análisis de ciclo de vida*” (p. 17), por U.A., Alfonso, 2010. Prensas Universitarias de Zaragoza.

Se observó que después de implementar el EPS en la construcción de esta carretera, en los próximos 7 años hubo un asentamiento de 8 cm y, en los próximos años, no hubo asentamiento. De acuerdo a estos resultados, el uso de bloques de EPS se convirtió en una solución rutinaria en Europa, en rellenos localizados en suelos compresibles, en pistas de aterrizaje de aeropuertos en Japón y en autopistas en Estados Unidos.

Se ha demostrado que el EPS es una gran alternativa en la industria de construcción, debido a las características anteriormente mencionadas. Según Martínez (2012), la estructura de una vivienda construida con paneles estructurales de EPS, reduce el 35.22% del peso del edificio; el montaje es sencillo, práctico y genera menor número de residuos ya que los materiales vienen dimensionados desde la fábrica y resalta en una vivienda tradicional el aislamiento térmico y acústico debido a que el EPS es un material aislante.

Las ventajas del uso del bloque de EPS, según ICF (2015), en la construcción son:

- Reduce el tiempo de construcción significativamente.
- Reduce el costo de construcción drásticamente.
- Amigable con el medio ambiente.
- A prueba de desastres naturales debido a su peso ligero.

- Incremento en la zona de confort.

Según lo mencionado por la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2014), incluir el EPS como aislante en edificaciones permite a la industria de la construcción crear nuevas construcciones amigables con el medio ambiente. Brindando de este modo, la oportunidad de hacer que se convierta en una industria sostenible debido a que uno de los principales beneficios de este material aislante es que minimiza el uso de energía por enfriamiento y calentamiento del edificio a lo largo de su tiempo de vida.

El EPS es un material que hace un uso más limpio y eficiente de los combustibles fósiles, puesto que, el consumo de combustibles fósiles para su producción es menor en comparación del consumo de dichos combustibles para producir la energía necesaria para el enfriamiento y calentamiento de un edificio sin aislante térmico a lo largo de su tiempo de vida. Aunado a lo anterior, cuando se termine el tiempo de vida de una vivienda con aislante, reciclar el EPS se convierte en una alternativa viable debido a que el periodo de uso del mismo es prolongado, según Ochoa, Güereca & Reyes (2012), es aproximadamente de 25 años o más dependiendo del mantenimiento.

Otra ventaja del EPS es que no es afectado al entrar en contacto con el cemento, cal y morteros modificados. Por tal razón, el uso de este material se convierte en un actividad segura y práctica en aplicaciones en la industria de la construcción.

### **2.7. Sistema constructivo EPS**

La constructora en Huajuapán de León, construye viviendas residenciales que cuentan con 82.62 m<sup>2</sup> de área construida repartidas en dos recámaras, una sala-comedor, cocina, un baño y medio, cochera y vestíbulo íntimo. Esta vivienda es construida con un sistema constructivo de EPS, donde la losa de cimentación cuenta con un recubrimiento de hule de poliuretano que sirve de aislante entre el suelo y la cimentación de concreto armado, los muros y losa de azotea se encuentran constituidos por una estructura de bloques de EPS (ver Figura 7) que se ensamblan y unen por medio de un vaciado de cemento en su interior, dando como resultado una estructura de cemento

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

---

forrado de unicel que tiene un recubrimiento con malla de fibra de vidrio y mortero reforzado. Los bloques que se utilizan para este tipo de vivienda son los lineales, esquineros y estrutec, de los cuales los dos primeros son para los muros y el último para la azotea (ver Anexo D).



Figura 7 Bloques de EPS, esquineros, lineales y estrutec.

Nota. Recuperado de “*Muros de concreto con aislamiento*”, por PetroBloc, s.f.

El proceso para la construcción de este edificio está constituido por las etapas de losa de cimentación, muros, losa de azotea y acabados de repello (ver Figura 8).

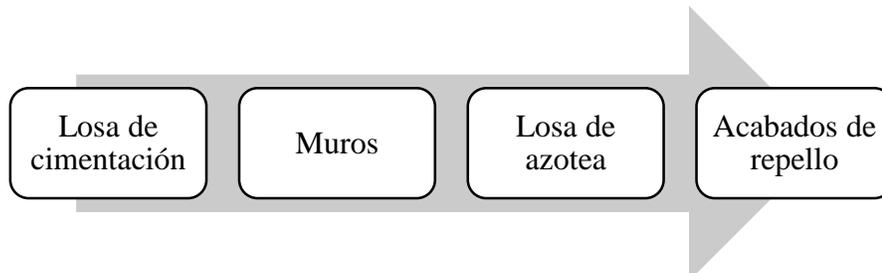


Figura 8 Diagrama de las etapas de construcción del sistema constructivo EPS.

Nota. Fuente propia.

Las sub-etapas que conforman las etapas del sistema constructivo EPS se pueden observar en las Figuras 9 y 10.

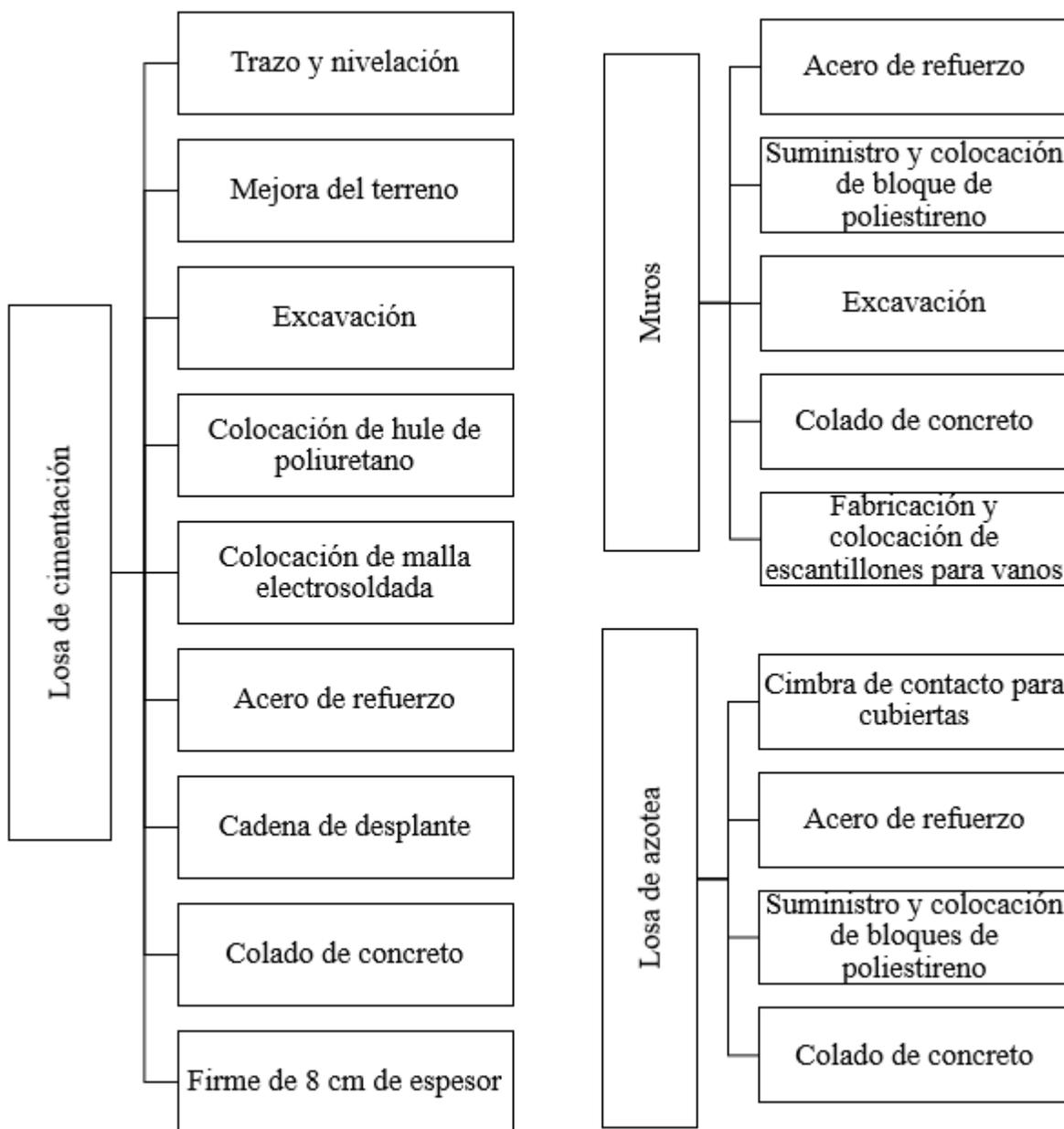


Figura 9 Diagrama de las sub-etapas de losa de cimentación, muros y losa de azotea para el sistema constructivo EPS..

Nota. Fuente propia

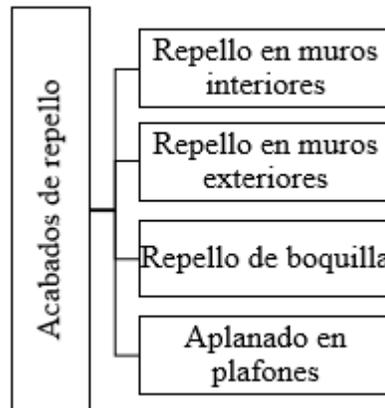


Figura 10 Diagrama de sub-etapas de acabados de repello para sistema constructivo EPS.

Nota. Fuente propia.

## 2.8. El sistema constructivo tradicional

Las características del sistema constructivo tradicional variarán de acuerdo al lugar donde se construya la vivienda ya que se trata de aprovechar los recursos con que se cuentan dependiendo de su localización geográfica. Pese a estas variantes, en México se notan ciertas constantes en los materiales más usuales a utilizar según los elementos a construir, que son: losa de cimentación (piedra, ladrillos, postes de madera, concreto), muros (piedra, tabicón, block sólido, block hueco, muros de hormigón, bovedilla y viguetas) y losa de azotea (concreto, block sólido y madera) (ver Figura 11).



Figura 11 Variantes de tabique.

Nota. Recuperado de "Ecodiseño y análisis de ciclo de vida" (p. 17), por U.A., Alfonso, 2010. Prensas Universitarias de Zaragoza.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

---

Este sistema, según lo mencionado por Martínez (2013), también es conocido como construcción húmeda o mampostería confinada, se constituye principalmente de paredes con cualquiera de los materiales anteriormente mencionados, revoque de interiores, instalaciones metálicas o plásticas y cubierta de tejas, cerámicas, chapas o losa plana. Algunas desventajas de este sistema es el tiempo de construcción que suele ser lento y es una construcción húmeda por la gran cantidad de agua que utiliza, por consiguiente, es más cara, más tardada y de mayor impacto ambiental debido al agua empleada, aunque cuentan con estructuras sólidas y durables.

Para el caso de estudio se consideró un sistema de mampostería confinada que tiene como material principal de ensamble el tabique rojo (ver Figura 12), en donde estos son superpuestos unidos entre sí con mortero y vigas de concreto en los muros, una losa de cimentación de concreto armado con un murete de enrase de tabicón pesado unido con mortero y una losa de azotea de concreto armado (ver Anexo E). A lo largo del texto se le nombrará como sistema constructivo tradicional o sistema constructivo de tabique rojo, tomando esto para hacer referencia al material principal de mampostería utilizado para el caso de estudio.



Figura 12 Tabique rojo.

Nota. Fuente propia.

Los capítulos o etapas para la elaboración de este sistema se dividen en tres: preliminares y cimentación, albañilería y acabados y estructura (ver Figura 13).

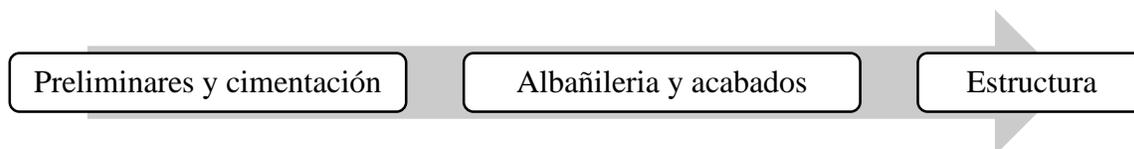


Figura 13 Diagrama de etapas de construcción del sistema constructivo tradicional.

Nota. Fuente propia.

Cada una de estas etapas contempla ciertas sub-etapas para su construcción (ver Figura 14).

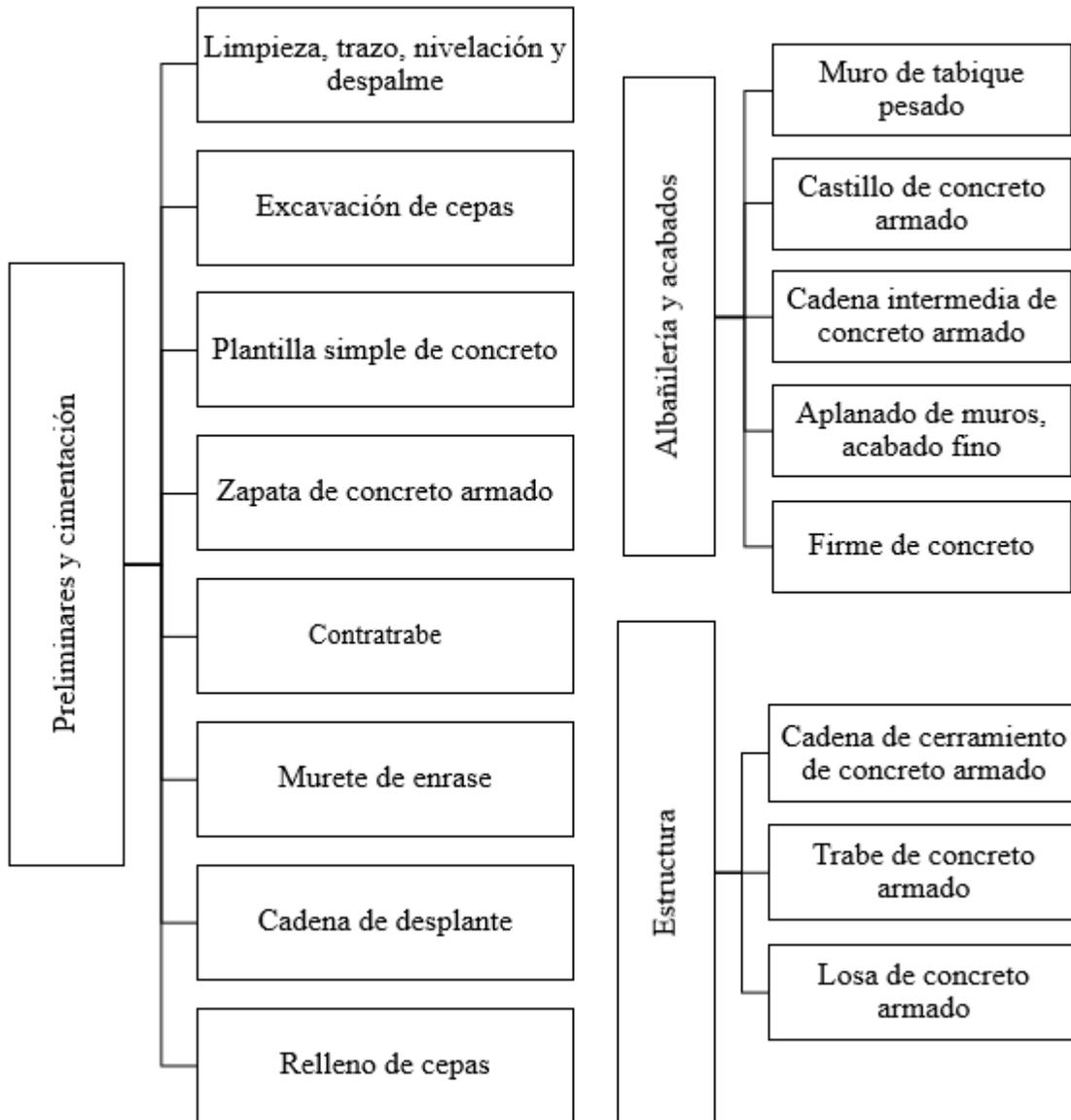


Figura 14 Diagrama de sub-etapas de preliminares y cimentación, albañilería y acabado y estructura del sistema constructivo tradicional.

Nota. Fuente propia.

### 2.9. Software SimaPro

SimaPro es un software analítico utilizado para medir la huella ambiental de productos y servicios de una manera objetiva y con alto nivel de transparencia. Permite ver redes de suministro completas y proporciona una visión total de las bases de datos y los procesos unitarios. Se encuentra compuesto por:

- Base de datos. Contiene la información de los inventarios para realizar el ACV, como Ecoinvent, métodos de evaluación de impacto en el ciclo de vida, información general y proyectos propios.
- Herramienta de cálculo y análisis. Toma los datos de la base de datos para realizar los cálculos ambientales.

SimaPro se encuentra basado en la ISO 14040, por lo cual cuenta con pestañas organizadas, de modo tal que, se siga cada una de las etapas del ACV, permitiendo que el usuario tenga una interacción clara con el proyecto (ver Figura 15).

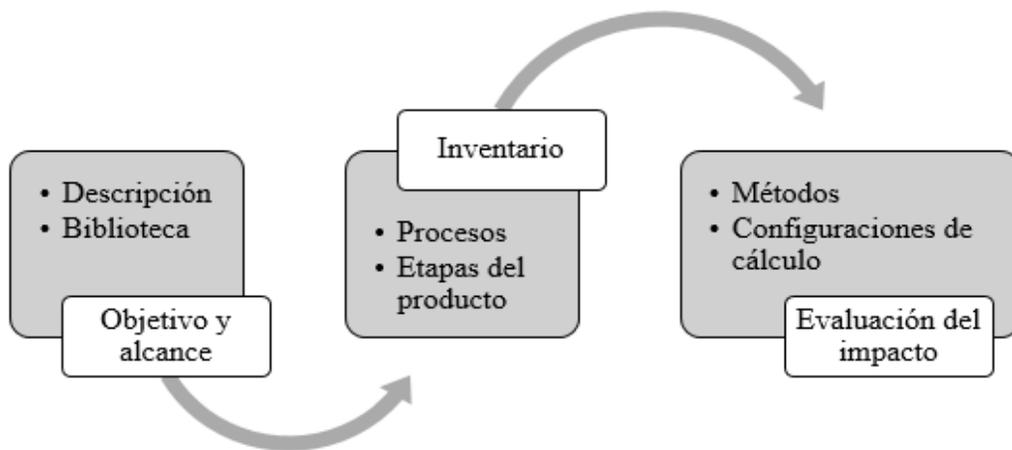


Figura 15 Diagrama de los pasos para realizar un ACV en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Cabe resaltar que, el software SimaPro, es una herramienta de cálculo que se utiliza solamente en la fase de evaluación del impacto ambiental y que permite visualizar en forma ordenada cada

una de las fases de la norma correspondiente. Las actividades propuestas por la autora para realizar un ACV teniendo a SimaPro como herramienta de cálculo se pueden ver en la Figura 16.

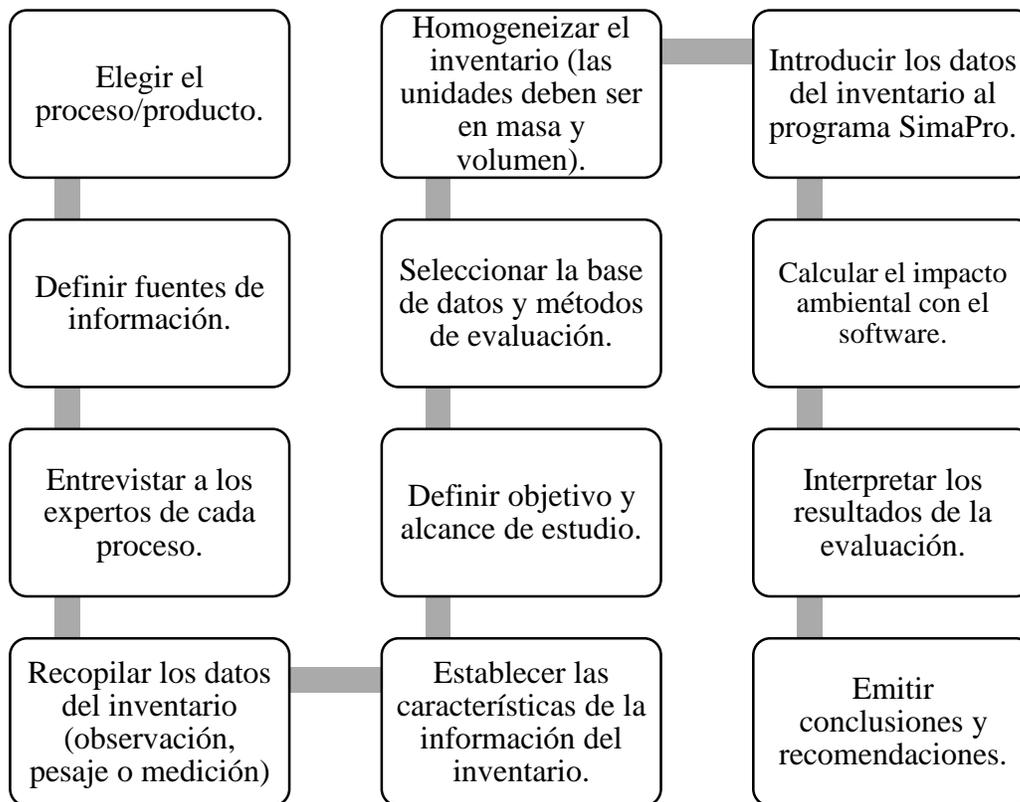


Figura 16 Diagrama de las etapas para realizar un ACV.

Nota. Fuente propia.

Una vez realizadas todas las actividades previas a la evaluación del impacto ambiental, se introducen los datos correspondientes en el software SimaPro.

En la descripción se escriben los detalles del proyecto como el nombre, autor, objetivo, a quien va dirigido, quien ordena el proyecto, entre otros (ver Figura 17).

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

<b>Instructor</b>	Nombre	_SISTEMAS_CONSTRUCTIVOS_EPS_TABIQUE_(MX)
Instructores	Fecha	17/01/2021
<b>Objetivo y alcance</b>	Autor	DALIA ROJAS CORTES
<b>Descripción</b>	Comentario	ANALISIS DE CICLO DE VIDA DE UNA VIVIENDA RESIDENCIAL USANDO DOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS: POLIESTIRENO EXPANDIDO Y TABIQUE ROJO
Bibliotecas	Tipo ACV	Unspecified
<b>Inventario</b>	Objetivo	ELABORAR EL ANALISIS DEL CICLO DE VIDA DE UNA VIVIENDA RESIDENCIAL CON DOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS: POLIESTIRENO EXPANDIDO Y TABIQUE ROJO, PARA DETERMINAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES POR MEDIO DEL USO DEL SOFTWARE SIMAPRO EN HUAJUAPAN DE LEON, OAXACA, MEXICO.
Procesos		
Etapas de producto		
Descripciones del sistema		
Tipos de residuo		
Parámetros		
<b>Evaluación de impacto</b>		
Métodos		
Configuraciones de cálculo		
<b>Interpretación</b>		
Interpretación		
Enlace a otro documento		

Figura 17 Pestaña de descripción del software SimaPro..

Nota. Fuente propia.

La pestaña bibliotecas, permite seleccionar la base de datos a utilizar de acuerdo a la industria en la que esté centrada el proyecto o lugar (ver Figura 18).

<b>Instructor</b>	Selec	Nombre	Protección
Instructores	<input type="checkbox"/>	Agri-footprint - economic allocation	
<b>Objetivo y alcance</b>	<input type="checkbox"/>	Agri-footprint - gross energy allocation	
Descripción	<input type="checkbox"/>	Agri-footprint - mass allocation	
<b>Bibliotecas</b>	<input type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation at point of substitution - system	
<b>Inventario</b>	<input type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation at point of substitution - unit	
Procesos	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - system	
Etapas de producto	<input type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit	
Descripciones del sistema	<input type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - consequential - system	
Tipos de residuo	<input type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - consequential - unit	
Parámetros	<input type="checkbox"/>	ELCD	
<b>Evaluación de impacto</b>	<input type="checkbox"/>	EU & DK Input Output Database	
Métodos	<input type="checkbox"/>	Industry data 2.0	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Methods	
	<input type="checkbox"/>	Swiss Input Output Database	
	<input type="checkbox"/>	USLCI	

Figura 18 Pestaña de bibliotecas del software SimaPro.

Nota. Fuente propia.

La pestaña procesos incluye las etapas de materiales, energía, transformaciones (energía utilizada por maquinarias), uso, escenario de residuo y tratamiento de residuos. En cada una de ellas se creará una carpeta dependiendo del objetivo del proyecto (ver Figura 19).

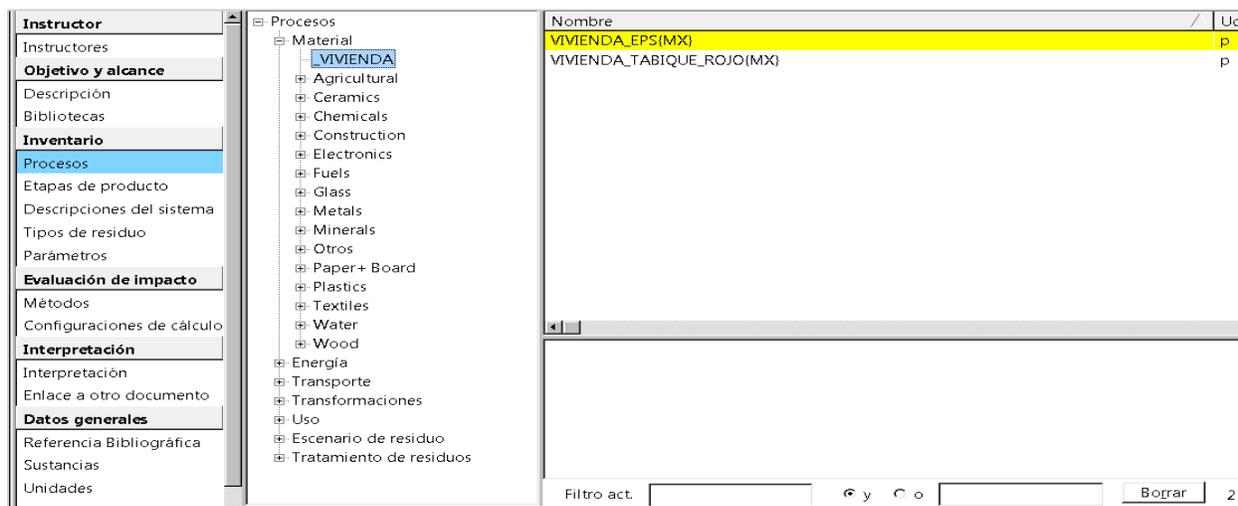


Figura 19 Pestaña de procesos del software SimaPro.

Nota. Fuente propia.

La pestaña etapas de producto considera las fases del producto, es decir, montaje, en caso de que se hayan creado nuevos materiales en la base de datos; ciclo de vida, aquí se unen todos los proyectos creados en procesos de acuerdo al objetivo y alcance; escenarios de residuos, desensamblar y reutilizar.

En la pestaña métodos se selecciona el método de evaluación del ACV y en configuraciones de cálculo se guardan los cálculos realizados en el proyecto en caso de tener que volverlos a visualizar.

SimaPro analiza los datos del ciclo de vida utilizando los métodos de evaluación de impactos para obtener la huella ambiental. Cabe destacar, que es una herramienta profesional en la cual el usuario puede aumentar su base de datos con la creación de nuevos proyectos, haciendo interactivo el software, pero según lo mencionado por Vallejo (2004), la implementación del ACV puede ser una tarea sumamente extensa, aunque se cuente con una herramienta de cálculo como SimaPro, por tal razón se deben establecer claramente los límites y el alcance de estudio. Teniendo definidos los dos puntos anteriormente mencionados y el inventario del ciclo de vida (ICV) del producto, se puede proceder a evaluar el impacto ambiental de un producto o realizar la comparación de diversos productos en términos de impacto ambiental. Es importante aclarar que uno de los criterios principales para efectuar dicha comparación es que solamente se deben comparar aquellos

productos que vayan a cumplir la misma función. Por ejemplo, no es válido comparar dos guantes diferentes, carnaza y látex, porque su objetivo de uso es diferente.

Las bases de datos específicas de lugares o tipo de industria son: ELCD, que incluye datos de Europa; US Life Cycle Inventory Database enfocada a procesos de producción y embalaje; Industry data library está enfocada a la industria del plástico, acero, detergentes y surfactantes; Swiss Input/Output Database enfocada al consumo por ente de estudio (empresa, casa o persona); European and Danish Input/Output Database para todos los sectores de la economía; Agri-footprint específica para la industria alimenticia y Ecoinvent que es la base de datos más completa.

De acuerdo con lo explicado en el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable CADIS (s.f.), SimaPro contempla diferentes métodos de evaluación, los más conocidos son el IPCC y EPD. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, IPCC por sus siglas en inglés, es una entidad científica que proporciona conocimientos sobre el cambio climático y su unidad de medida es en kilogramos equivalentes de bióxido de carbono, unidad utilizada para conocer el potencial de calentamiento global. La información referente a este método es proporcionada por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. La Declaración Ambiental del Producto, EPD por sus siglas en inglés, es aquel método que tiene como base documentos verificables por una tercera parte, información relativa al comportamiento ambiental del producto o servicio certificado. Es regulada mediante la norma ISO 14025:2010 Etiquetas y declaraciones ambientales-Declaraciones ambientales tipo III-Principios y procedimientos. Cabe resaltar que el EPD funge como una eco-etiqueta para un producto mas no significa que sea medioambientalmente mejor o peor que otro producto que no disponga de ella. Este método, según el CADIS (s.f.), es recomendado para la industria de la construcción ya que contempla ocho categorías de impacto: el agotamiento de la capa de ozono, el agotamiento abiótico de los recursos, eutrofización, oxidación fotoquímica, acidificación, escasez de agua, calentamiento global y agotamiento abiótico de los combustibles fósiles.

El agotamiento de la capa de ozono hace referencia al potencial de las sustancias controladas por el Protocolo de Montreal para disminuir la capa de ozono, la unidad de medida de esta categoría de impacto en SimaPro es kilogramos equivalentes de clorofluorocarbonos (CFC) con exponencial

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

---

a la menos 11 (kg CFC-11 eq). Es importante esta categoría de impacto debido a que la capa de ozono ( $O_3$ ) actúa como un escudo protector de la radiación ultravioleta para la Tierra.

El agotamiento abiótico de los recursos o elementos, es un término que no se ha definido claramente, debido a que depende en gran medida de la percepción del evaluador, pero se hace referencia a la disminución de los recursos “sin vida” que rodean a los seres vivos y pueden ser explotados por el hombre. La unidad de medida es en kilogramos equivalentes de antimonio (kg Sb eq).

Eutrofización, es el proceso de deterioro de la calidad del agua, originado por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, condicionando la utilización de estos y ejerciendo grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a escala regional. La unidad de medida es en kilogramos equivalentes de fosfato (kg  $PO_4^{---}$  ep).

Oxidación fotoquímica, se refiere a la formación fotoquímica de ozono troposférico y ocurre cuando la luz solar reacciona con hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y compuestos químicos para producir la contaminación del aire conocido como smog. La unidad de medida es en kilogramos equivalentes de Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano (kg NMVOC).

Acidificación, hace referencia a la reducción del potencial de hidrógeno (pH) o la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y el agua, adquiriendo características ácidas. La unidad de medida es kilogramos equivalentes de dióxido de azufre (kg  $SO_2$  eq).

Escasez de agua, significa que la oferta de la cantidad de recursos hídricos es superada por la demanda de consumo de agua en la región. La unidad de medida es metros cúbicos equivalentes ( $m^3$  eq).

Calentamiento global, es el aumento a largo plazo de la temperatura de la Tierra principalmente causado por la emisión de los gases de efecto invernadero emitidos por la actividad humana. La unidad de medida es kilogramos equivalentes de bióxido de carbono (kg  $CO_2$  eq).

Agotamiento abiótico de los combustibles fósiles, es un término que hace referencia a la disminución de los recursos “sin vida” relacionados con la explotación de los recursos fósiles. La unidad de medida es en mega joule (MJ).

### CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

La metodología a implementar para el caso de estudio es una adaptación de la NOM ISO 14040-Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia, la cual consta de las siguientes fases:

#### **3.1. Definición de objetivos y alcance**

Definir el objetivo y alcance del caso de estudio permite restringir y evaluar si el proyecto cumplió con las actividades propuestas. Para el caso de estudio el objetivo y alcance de estudio son:

##### **3.1.1. Objetivo.**

Elaborar el análisis del ciclo de vida de una vivienda residencial usando dos sistemas constructivos: poliestireno expandido y tradicional, para determinar los impactos ambientales por medio del uso del software SimaPro en Huajuapán de León, Oaxaca, México.

##### **3.1.2. Alcance.**

Las etapas del ciclo de vida de una edificación o vivienda (ver Figura 20) abarcan desde la extracción de los recursos hasta la demolición y disposición final. El presente estudio abarcó el transporte de materiales hasta el uso de la misma, específica y exclusivamente en el apartado de climatización, para dos sistemas constructivos, poliestireno expandido y tradicional, utilizados en la construcción de viviendas del Fraccionamiento Álamos en la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, México.

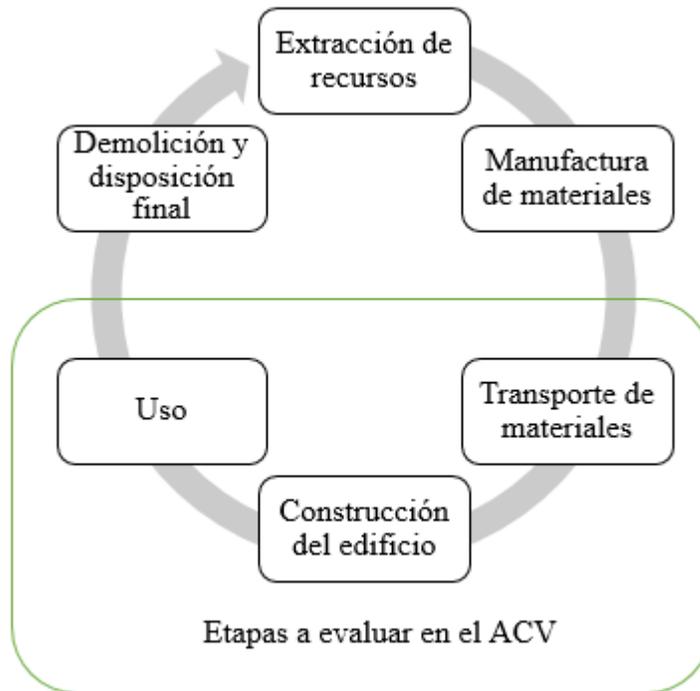


Figura 20 Diagrama de las etapas del ciclo de vida a evaluar en el ACV.

Nota. Adaptado de “Análisis de Ciclo de Vida: Edificaciones”, por Molina (2014).

El proceso para ambos sistemas constructivos comienza con el transporte de la materia prima. En el caso del sistema constructivo EPS, destacan los bloques de EPS que provienen del estado de Chihuahua y Edo. de México y el resto de material es entregado por un proveedor local en la ciudad de Huajuapán. Para el sistema constructivo tradicional, todos los insumos, tabique rojo y otros, son abastecidos por el mismo proveedor local del primer sistema.

Posteriormente, en la etapa de construcción, se utilizan los materiales abastecidos en la etapa anterior más una energía de transformación gastada en los equipos necesarios para llevar a cabo la construcción de cada sistema.

Posteriormente, en la etapa de uso se toma en cuenta los datos proporcionados por Weather Spark (s.f.) sobre la temperatura promedio por hora de todo el año de la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, México, esto se hace para proponer el tiempo de uso del calefactor y aire

acondicionado en una vivienda. Para el sistema constructivo EPS se considera menor tiempo de uso debido a que el sistema cuenta con aislante térmico.

### **3.1.3. Unidad funcional y flujo de referencia.**

La unidad funcional es producir un metro lineal de una vivienda residencial con sistema constructivo EPS y sistema constructivo de tabique rojo, respectivamente. Se considera un metro lineal para ambos sistemas, es decir, un metro a lo largo de la cimentación y con una altura de 3 m desde la cimentación hasta la losa de azotea. Esta unidad es útil para que una persona pueda conocer una aproximación del impacto ambiental de una vivienda al saber los metros lineales (o metros del contorno) que tiene la vivienda de interés, es decir, permite determinar el impacto ambiental de diferentes viviendas que implementen estos sistemas al multiplicar los resultados obtenidos por los metros lineales que tenga la construcción de interés. De este modo, el resultado no se limita a un solo diseño de vivienda, solo se debe tener en consideración que solo se contempla este cálculo para un sistema constructivo de un solo nivel.

El flujo de referencia es un metro lineal de una vivienda con sistema constructivo EPS y sistema constructivo tradicional, respectivamente.

### **3.1.4. Criterios de corte.**

No aplican reglas de corte para las etapas seleccionadas pues se consideran todos los materiales utilizados en cada etapa a analizar.

## **3.2. Análisis del inventario**

Una vez recabada la información de los ICV de cada sistema constructivo es importante homogeneizar la información respecto a la base de datos del software SimaPro.

### **3.2.1. Procedimientos de la recolección de datos.**

En cuanto a la obtención de datos, para el sistema constructivo EPS, el proceso de construcción y los datos de los insumos fue proporcionado por una constructora que está implementando dicho

sistema. Respecto al sistema constructivo tradicional, la información fue proporcionada por el Arq. Itzamatul Moya Solano. Aunado a ello se realizaron entrevistas y visitas con la finalidad de conocer el sistema constructivo. Cabe resaltar que, a petición de la constructora, la información del sistema constructivo EPS se conserva como confidencial.

Referente a la energía utilizada en la transformación o construcción de la vivienda, ambos proporcionaron la información referente al tipo de maquinaria y tiempo de uso de las mismas, con dichos datos se pudo determinar el consumo de combustible correspondiente a cada maquinaria.

Respecto al transporte, se determinó el tipo, capacidad y distancia recorrida de acuerdo a los datos proporcionados por ambas fuentes.

### **3.2.2. Descripción de los insumos.**

Como se menciona anteriormente, para el sistema constructivo EPS se solicitó confidencialidad referente al inventario de ciclo de vida (ICV), que contienen los datos de entrada de materiales en cada etapa correspondiente al ciclo de vida abarcados para el caso de estudio.

### **3.2.3. Transporte de materiales.**

Las consideraciones para el sistema constructivo EPS, es que los bloques de EPS son suministrados desde Chihuahua y Edo. de México, mientras que los materiales restantes para la construcción son abastecidos por una ferretería local. Para uno de los escenarios de estudio se considera la propuesta de que la planta de bloques de EPS son producidos en Huajuapán de León, Oaxaca, según lo propuesto por Hernández (2020). Para el sistema constructivo tradicional se considera que todos los materiales son abastecidos por una ferretería local. Considerando estos puntos de origen, se calcularon los kilómetros recorridos hasta el lugar de construcción, aunado a ello se consideró la capacidad de peso que llevarán los vehículos para poder calcular las toneladas-kilómetro recorridas (ver Tabla 6).

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Tabla 6 Valores considerados en la etapa de transporte considerando diferentes puntos de origen y como punto de llegada el fraccionamiento Álamos en la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca.

PUNTO DE ORIGEN	KILOMETROS RECORRIDOS	CAPACIDAD DE CARGA (ton)	tkm
Chihuahua	1793	0.5	896.5
Edo. de México	318	0.5	159
Ferretería local (Huajuapán de León)	2.8	4	11.2
Planta de bloques EPS (Huajuapán de León)	7.4	0.5	3.7

Nota. Fuente propia.

### 3.2.4. Construcción de la vivienda.

#### 3.2.4.1. Materiales.

La información recolectada de los sistemas constructivos fue proporcionada por tipo de material y cantidad utilizada de acuerdo a las presentaciones comerciales, por tal razón fue importante realizar las conversiones necesarias para dejar todo en términos de masa como lo maneja el software SimaPro (ver Anexo A y B). Para homogenizar estos datos se realizó el pesaje de algunos materiales y de este modo conocer directamente su masa, en otros casos se ocupó principalmente la fórmula para calcular la densidad de un material y las fórmulas respectivas de volumen, la cual varió de acuerdo a la presentación comercial de los insumos (prisma rectangular o cilindro).

$$\text{Densidad } (\rho) = \frac{\text{masa (kg)}}{\text{volumen (m}^3\text{)}}$$

Los principales materiales que requirieron conocer su densidad fueron la arena, grava y agua, y según el Manual del Constructor por CEMEX (s.f.), sus densidades se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7 Densidades de los materiales para el cálculo de la masa ocupada en cada sistema constructivo.

CONCEPTO	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
Arena	1550
Grava	1760
Agua a 25°C	997.13

Nota. Adaptado de “Manual del constructor” por CEMEX.

### **3.2.4.2. Transformaciones.**

Este apartado considera el combustible consumido por la maquinaria utilizada en los diferentes procesos, posteriormente se realizan las conversiones necesarias para dejarlo todo en término de masa (ver Anexo C).

### **3.2.5. Uso.**

En la etapa de uso solamente se abarcó la climatización, considerando el uso de calefactor y aire acondicionado. González & Durán (2012), puesto que en México el estudio del consumo energético está enfocado al sector doméstico debido a que son el 87.90% de los usuarios y tienen el consumo del 24.91% a nivel nacional. Teniendo en consideración esto, estiman que el uso de un calefactor y un aire acondicionado son un factor determinante en el consumo energético de una vivienda pues al hacer uso de los mismos y suponiendo hogares con ingresos de más de 10 salarios mínimos, gastan 62.9% y 4%, por concepto de calefacción y aire acondicionado respectivamente, que si no utilizaran estos servicios. Mencionan que el consumo de watts por hora de un calefactor es 1300 y para un aire acondicionado es 2950, lo que sería equivalente a tener 13 y 30 focos de 100 watts durante una hora, respectivamente.

De acuerdo con la encuesta realizada por el INEGI (2018), establecen que estos dispositivos son utilizados en un rango de 1 a 9 horas diarias, observando que ambos dispositivos coinciden en ser utilizados más de 5 horas diarias para la zona sur del país. Para este proyecto se considera tomar un promedio de dichas horas, obteniendo que el tiempo de uso diario es de 5 horas para un sistema constructivo tradicional.

Para determinar el tiempo de uso de los aparatos de calefacción del sistema constructivo se toma en consideración la información proporcionada por Weather Spark (s.f) (ver Figura 21) sobre la temperatura promedio en Huajuapán de León a lo largo de un año, observando que los meses con temperaturas desde calientes a muy caliente son desde mediados de marzo hasta mediados de mayo. En cambio, la temperatura fría comienza a finales de octubre y termina a finales de marzo. Teniendo esto en consideración y, suponiendo un promedio de 30 días por mes, tenemos que el calefactor se utilizaría 150 días por año y el aire acondicionado 60 días (ver Tabla 8).

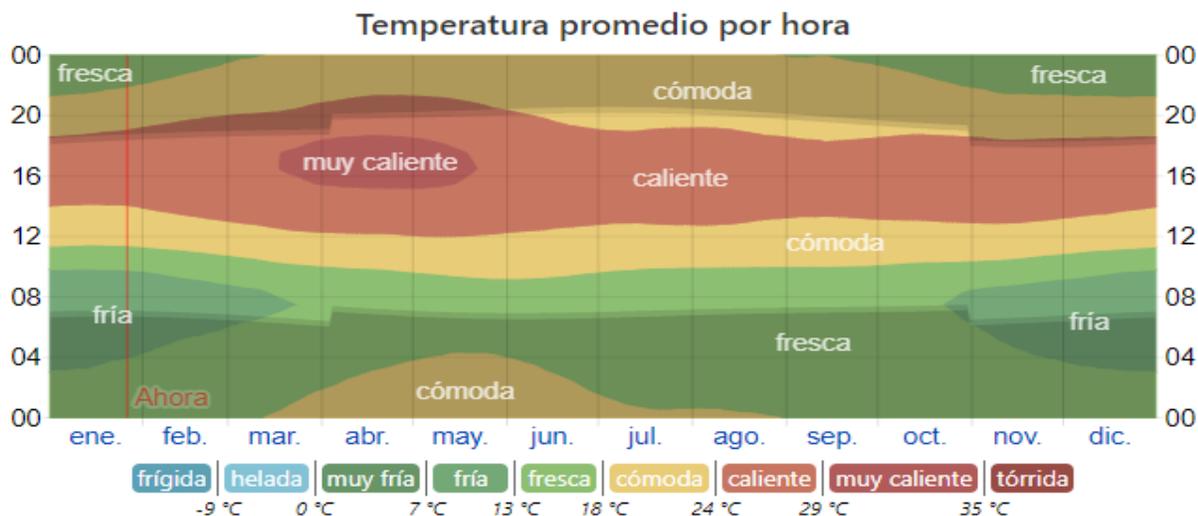


Figura 21 Temperatura promedio por hora en Huajuapán de León, Oaxaca México.

Nota. Fuente propia.

Tabla 8 Tipo de equipo considerado para la etapa de uso en climatización.

EQUIPO	kWh	HORAS/DÍA		DIAS/AÑO
		EPS	TRADICIONAL	
Calefactor	1300	1	5	150
Aire acondicionado	2950	1	5	60

Nota. Fuente propia.

Una vez establecidas la cantidad de consumo energético por hora y el tiempo que durarán encendidos estos equipos por día y la cantidad de días en el lapso de un año, se procede a realizar el cálculo del consumo energético para 1, 5 y 10 años (ver Tabla 9).

Tabla 9 Valores utilizados en la etapa de uso.

SISTEMA CONSTRUCTIVO	EQUIPO	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)		
		AÑO 1	AÑO 5	AÑO 10
EPS	Calefactor	195000	975000	1950000
	Aire acondicionado	177000	885000	1770000
Tradicional	Calefactor	975000	4875000	9750000
	Aire acondicionado	885000	4425000	8850000

Nota. Fuente propia.

### 3.3. Evaluación del impacto

Durante la etapa de evaluación del impacto ambiental se utilizó el software SimaPro como herramienta de cálculo, en donde se seleccionó la base de datos Ecoinvent V3 y como método de evaluación se seleccionó la Declaración Ambiental del Producto, EPD por sus siglas en inglés, a continuación, se describen las categorías de impacto, así como la unidad que utilizan (ver Tabla 10).

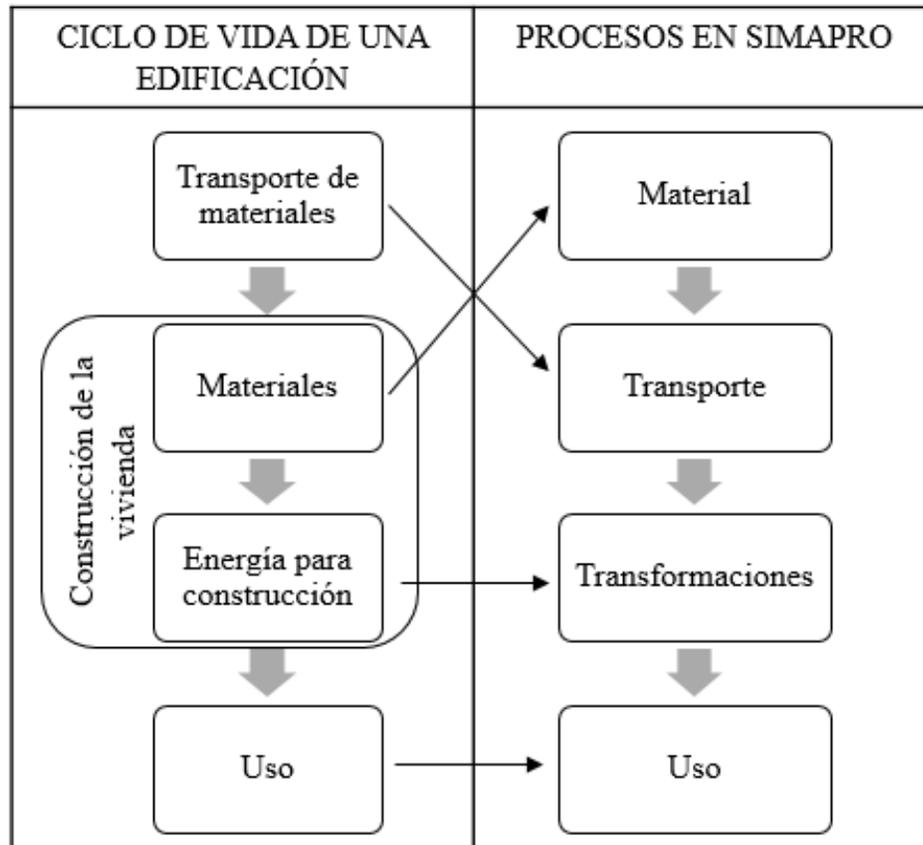
Tabla 10 Categorías de impacto para metodología EPD.

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDAD	SIGLA
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	AO
Agotamiento abiótico, elementos	kg Sb eq	AAE
Eutrofización	kg PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> eq	EU
Oxidación fotoquímica	kg NMVOC	OF
Acidificación (destino no incluido)	kg SO <sub>2</sub> eq	AC
Escasez de agua	m <sup>3</sup> eq	EA
Calentamiento global	kg CO <sub>2</sub> eq	CG
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	MJ	AAC

Nota. Fuente propia.

Una vez establecidos la base de datos y método de evaluación, se introducen los datos analizados en la fase dos. Los datos del ciclo de vida deben introducirse en apartados específicos del software (ver Tabla 11).

Tabla 11 Relación entre las etapas del ciclo de vida de una edificación y los procesos en SimaPro.



Nota. Fuente propia.

En el proceso de materiales, se creó un apartado para cada sistema constructivo, en donde se introdujo el material y cantidad, de acuerdo a su origen, es decir, si fue tomado directamente de la naturaleza se introduce en el primer apartado, en entradas conocidas desde la tecnósfera se introducen aquellos que ya sufrieron un proceso de transformación (ver Figura 22 y Figura 23).

## CAPÍTULO 3. METODOLOGIA Y DESARROLLO

Productos								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos	Cantidad	Ud.	Cantidad	Asignación	Tipo de resid.	Categoría	Comentario	
VIVIENDA_EPS{MX}	1	p	Amount	100 %		_VIVIENDA		
(Insertar línea aquí)								
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)								
	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min	Máx	Comentario	
Light fuel oil (RoW)  market for   Cut-off, S	0.076	kg	Indefinido				GASOLINA	
Sawnwood, hardwood, raw (GLO)  market for   Cut-off, S	0.00010053	m3	Indefinido				ESTACAS DE MADERA	

Figura 22 Inventario de materiales del sistema EPS en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Productos								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos	Cantidad	Ud.	Cantidad	Asignación	Tipo de resid.	Categoría	Comentario	
VIVIENDA_TABIQUE_ROJO{MX}	1	p	Amount	100 %		_VIVIENDA		
(Insertar línea aquí)								
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)								
	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min	Máx	Comentario	
Nylon 6 (GLO)  market for   Cut-off, S	0.0168	kg	Indefinido				HILO DE ALBANIL	
Sawnwood, hardwood, raw (GLO)  market for   Cut-off, S	0.0005	m3	Indefinido				POLIN DE MADERA	
Sawnwood, hardwood, raw (GLO)  market for   Cut-off, S	0.00025	m3	Indefinido				PLATA DE MADERA DE 10 CM	

Figura 23 Inventario de materiales del sistema constructivo tradicional en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

En el apartado de transporte se crearon carpetas para cada tipo de transporte propuesto, es decir, para el sistema constructivo de EPS se considera el transporte actual de los bloques EPS desde Chihuahua y Edo. de México y la propuesta de Hernández (2020) de que la planta de EPS está en La Junta, Huajuapán de León, Oaxaca, México. En el caso del sistema constructivo tradicional se consideró que los materiales son suministrados por una ferretería local (ver Figura 24).

## CAPÍTULO 3. METODOLOGIA Y DESARROLLO

Instructor	Procesos	Nombre	Ud.	Proyecto
Instructores	Material	TRANSPORTE_EPS_(MX)	p	._SISTEMAS_C
<b>Objetivo y alcance</b>	Energía	TRANSPORTE_EPS_PHJ_(MX)	p	._SISTEMAS_C
Descripción	Transporte	TRANSPORTE_TABIQUE_(MX)	p	._SISTEMAS_C
Bibliotecas	_VIVIENDA			
<b>Inventario</b>	Air			
Procesos	Building equipment			
Etapas de producto	Electricity			
Descripciones del sistema	Intermodal			
Tipos de residuo	Otros			
Parámetros	Pipeline			
<b>Evaluación de impacto</b>	Rail			
Métodos	Road			
Configuraciones de cálculo	Waste			
	Water			
	Transformaciones			
	Uso			
	Escenario de residuo			

Figura 24 Pestaña de transporte en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Los pasos anteriores se repitieron para el proceso de transformaciones donde se incluyó el combustible consumido por la maquinaria para cada sistema constructivo y para el uso de la vivienda por cada escenario (ver Figura 25).

Instructor	Procesos	Nombre	Ud.	Proyecto
Instructores	Material	CLIMATIZACION_VIVIENDA_EPS_1_A_(MX)	p	._SISTEMAS_C
<b>Objetivo y alcance</b>	Energía	CLIMATIZACION_VIVIENDA_EPS_10_A_(MX)	p	._SISTEMAS_C
Descripción	Transporte	CLIMATIZACION_VIVIENDA_EPS_5_A_(MX)	p	._SISTEMAS_C
Bibliotecas	Transformaciones	CLIMATIZACION_VIVIENDA_TABIQUE_1_A_(MX)	p	._SISTEMAS_C
<b>Inventario</b>	Uso	CLIMATIZACION_VIVIENDA_TABIQUE_10A_(MX)	p	._SISTEMAS_C
Procesos	_VIVIENDA	CLIMATIZACION_VIVIENDA_TABIQUE_5A_(MX)	p	._SISTEMAS_C
Etapas de producto	Computers & network			
Descripciones del sistema	Land transformation			
Tipos de residuo	Otros			
Parámetros	Escenario de residuo			
	Tratamiento de residuos			

Figura 25 Pestaña de uso en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGIA Y DESARROLLO

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos	Cantidad	Ud.	Cantidad	Asignación	Categoría	Comentario
CLIMATIZACION_VIVIENDA_TABIQUE_1_A_(MX)	1	p	Amount	100 %	_VIVIENDA	1 AÑO
(Insertar línea aquí)						
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min	Máx
(Insertar línea aquí)						
Entradas						
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min	Máx
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min	Máx
Electricity, low voltage (MX)  market for   Cut-off, S	975000	kWh	Indefinido			
Electricity, low voltage (MX)  market for   Cut-off, S	885000	kWh	Indefinido			
						CALEFACTOR
						AIRE ACONDICIONADO

Figura 26 Inventario de uso de sistema tradicional en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Una vez introducidos todos los datos del inventario, se comenzó con el montaje de materiales y transporte para cada sistema constructivo, de acuerdo al escenario a estudiar (ver Figura 27).

Nombre	Estado	Comentario					
VIVIENDA_EPS_(MX)_CONTRANS	Ning.						
Materiales/Ensamblajes	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min	Máx	Comentario
VIVIENDA_EPS_(MX)	1	p	Indefinido				
(Insertar línea aquí)							
Procesos	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^C	Min	Máx	Comentario
TRANSPORTE_EPS_(MX)	1	p	Indefinido				CONSIDERA EL TRANSPORTE ACTUAL (CHIHUAHUA Y EDO. MEXICO)

Figura 27 Pestaña de ensamble en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Una vez realizado el montaje se procedió a unir todas las etapas del ciclo de vida, en donde se unió el montaje realizado anteriormente con la energía de transformación y uso, según corresponda (ver Figura 28).

## CAPÍTULO 3. METODOLOGIA Y DESARROLLO

Figura 28 Pestaña de ensamble en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Una vez que se encontraban los ciclos de vida con los inventarios correspondientes para cada escenario se seleccionaron aquellos que se deseaban comparar entre sí, se indicó el método de evaluación y se da clic en calcular (ver Figura 29).

Figura 29 Pestaña de ciclo de vida en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

**CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los escenarios que se tomaron en cuenta para evaluar el impacto ambiental (ver Tabla 12) se presentan a continuación con la finalidad de identificar aquel con menor impacto ambiental.

*Tabla 12 Escenarios de evaluación del ACV.*

NO.	VIVIENDA	MATERIAL	TRANSFORMACIÓN	TRANSPORTE			USO (AÑOS)		
				T1	T2	T3	1	5	10
1	Eps	X	X	X		X	X		
	Tradicional	X	X			X	X		
2	Eps	X	X	X		X		X	
	Tradicional	X	X			X		X	
3	Eps	X	X	X		X			X
	Tradicional	X	X			X			X
4	Eps	X	X		X	X	X		
	Tradicional	X	X			X	X		
5	Eps	X	X		X	X		X	
	Tradicional	X	X			X		X	
6	Eps				X	X			X
	Tradicional					X			X
7	Eps	X							
	Tradicional	X							
8	Eps		X						
	Tradicional		X						
9	Eps			X	X	X			
	Tradicional					X			
10	Eps						X	X	X
	Tradicional						X	X	X

Nota. Fuente propia.

Dónde:

- T1, transporte de bloques de EPS desde Chihuahua y Edo. De México.
- T2, transporte con la propuesta de planta en la Junta, Huajuapán de León, Oaxaca.
- T3, transporte desde una ferretería local en Huajuapán de León, Oaxaca.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Escenario 1

Se consideró el transporte de los bloques de EPS desde Chihuahua y Edo. de México, en el caso del sistema constructivo tradicional los materiales son suministrados por una ferretería local. Para ambos sistemas se supuso un tiempo de uso en climatización de 1 año. Los valores obtenidos por categoría de impacto se observan en la Figura 30.

Se	Categoría de impacto	Unidad	E1_VIVIENDA_EPS_1A_{MX} /	E1_VIVIENDA_TABIQUE_1A_{M}
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	0.0189	0.0936
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	0.205	1.02
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	437	2.18E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	548	2.71E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	1.01E3	5.04E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	2.31E4	1.13E5
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	2.44E5	1.21E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	3.18E6	1.58E7

Figura 30 Resultados del escenario 1 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

En la Figura 30 se observa que la categoría que genera mayor emisión es la de agotamiento de la capa de ozono para el sistema constructivo EPS y el sistema constructivo de tabique rojo, con 0.0189 kg CFC-11 eq y 0.0936 kg CFC-11 eq, respectivamente. El agotamiento abiótico de los combustibles fósiles es la categoría con mayor impacto, emitiendo 3.18 E6 MJ el sistema constructivo de EPS y 1.58E7 MJ el sistema constructivo de tabique rojo. Para visualizarlo gráficamente y poder comparar todas las categorías de impacto de cada sistema constructivo, para ello se toma el valor más alto de cada categoría de impacto como el 100% y se calcula el porcentaje correspondiente para el valor menor respecto al mayor de su categoría (ver Tabla 13, posteriormente, se grafican estos resultados (ver Figura 31).

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 13 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 1.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLA	PORCENTAJE DE IMPACTO	
		EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	20.1597	100
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	20.1737	100
Eutrofización	EU	20.0648	100
Oxidación fotoquímica	OF	20.2097	100
Acidificación	AC	20.114	100
Escasez de agua	EA	20.5106	100
Calentamiento global	CG	20.144	100
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	20.1003	100

Nota. Fuente propia.

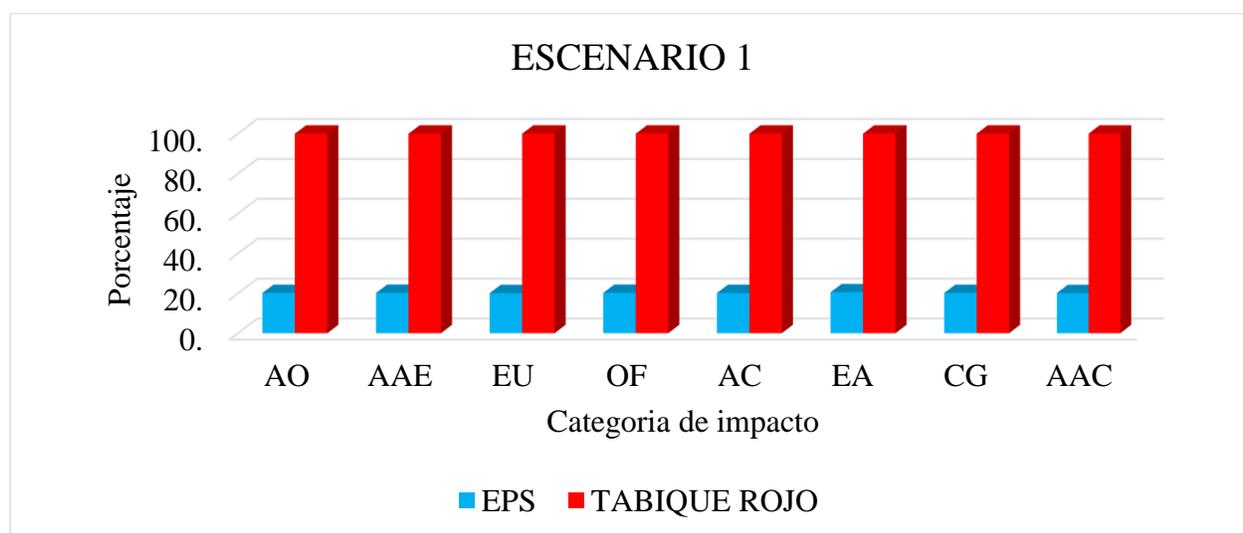


Figura 31 Gráfica del impacto ambiental del escenario 1 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

El gráfico de red del ACV muestra los componentes o etapas de forma, en el cual por medio del grosor de la línea se indica aquel proceso con mayor impacto (mayor grosor es mayor impacto). En el gráfico del sistema constructivo EPS (ver Figura 32) se observa que el proceso que genera mayor impacto ambiental es la climatización, lo mismo sucede para el sistema tradicional (ver Figura 33).

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

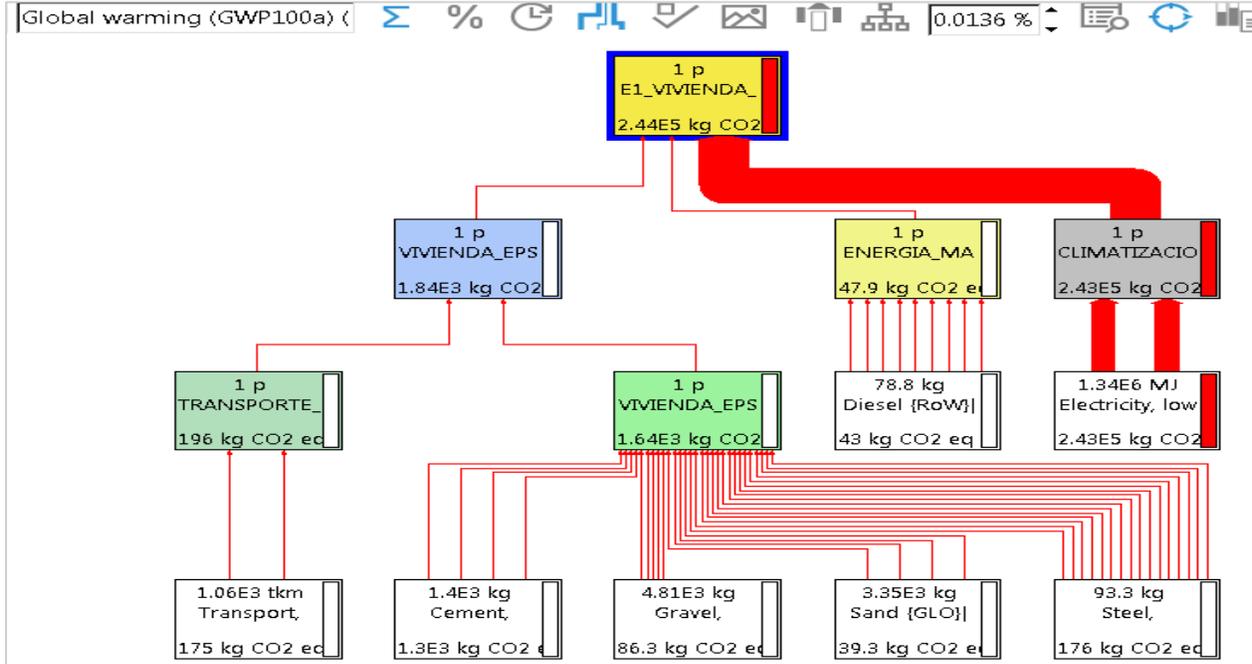


Figura 32 Gráfico de red del sistema constructivo EPS.

Nota. Fuente propia.

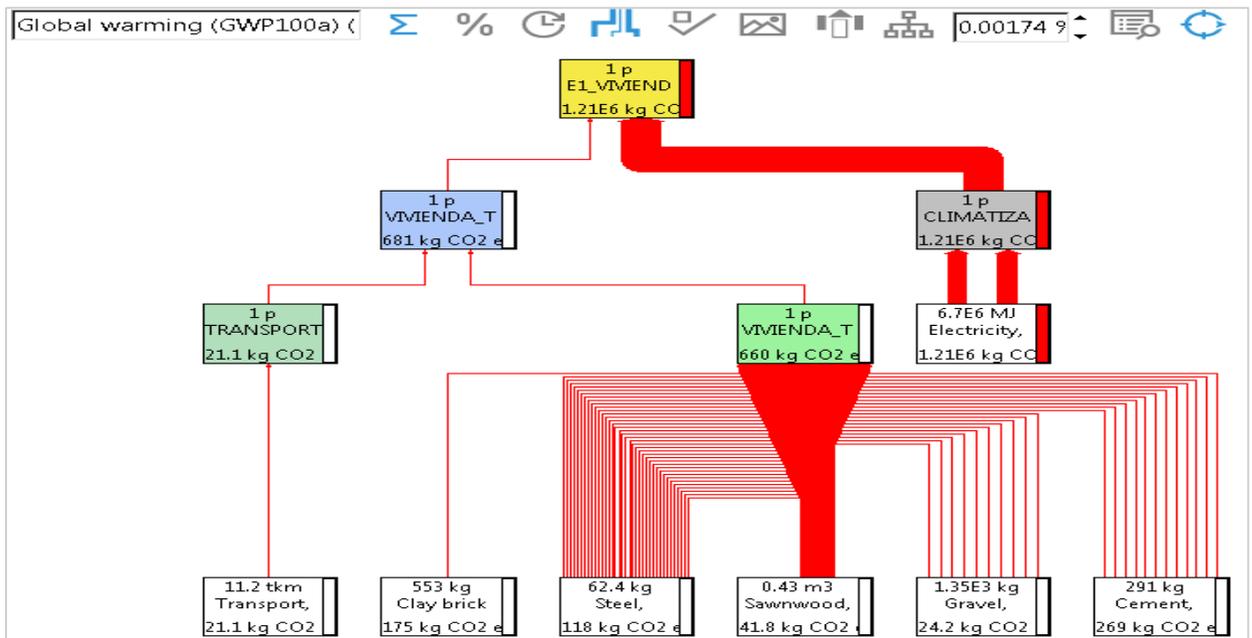


Figura 33 Gráfico de red del sistema constructivo de tabique rojo.

Nota. Fuente propia.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.2. Escenario 2

En este escenario se consideró el transporte de los bloques de EPS desde Chihuahua y Edo. de México, en el caso del sistema constructivo tradicional los materiales son suministrados por una ferretería local. Para ambos sistemas se supone un tiempo de uso en climatización de 5 años (ver Figura 34).

Si	Categoría de impacto	Unidad	E2_VIVIENDA_EPS_5A_{MX} /	E2_VIVIENDA_TABIQUE_5A_{MX}
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	0.0937	0.468
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	1.02	5.08
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	2.18E3	1.09E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	2.71E3	1.35E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	5.04E3	2.52E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	1.13E5	5.63E5
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.21E6	6.07E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	1.59E7	7.92E7

Figura 34 Resultados del escenario 2 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

De los datos obtenidos con SimaPro se aprecia que el sistema constructivo tradicional tiene mayor incidencia en el ambiente, teniendo que la categoría que genera mayor emisión es la de agotamiento de los combustibles fósiles, con 7.92E7 MJ. Para visualizarlo gráficamente es necesario tener todos los términos en porcentajes (ver Tabla 14 y Figura 35).

Tabla 14 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 2.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLA	PORCENTAJE DE IMPACTO	
		EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	20.0320	100
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	20.0348	100
Eutrofización	EU	20.0130	100
Oxidación fotoquímica	OF	20.0420	100
Acidificación	AC	20.0228	100
Escasez de agua	EA	20.1023	100
Calentamiento global	CG	20.0288	100
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	20.0200	100

Nota. Fuente propia.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

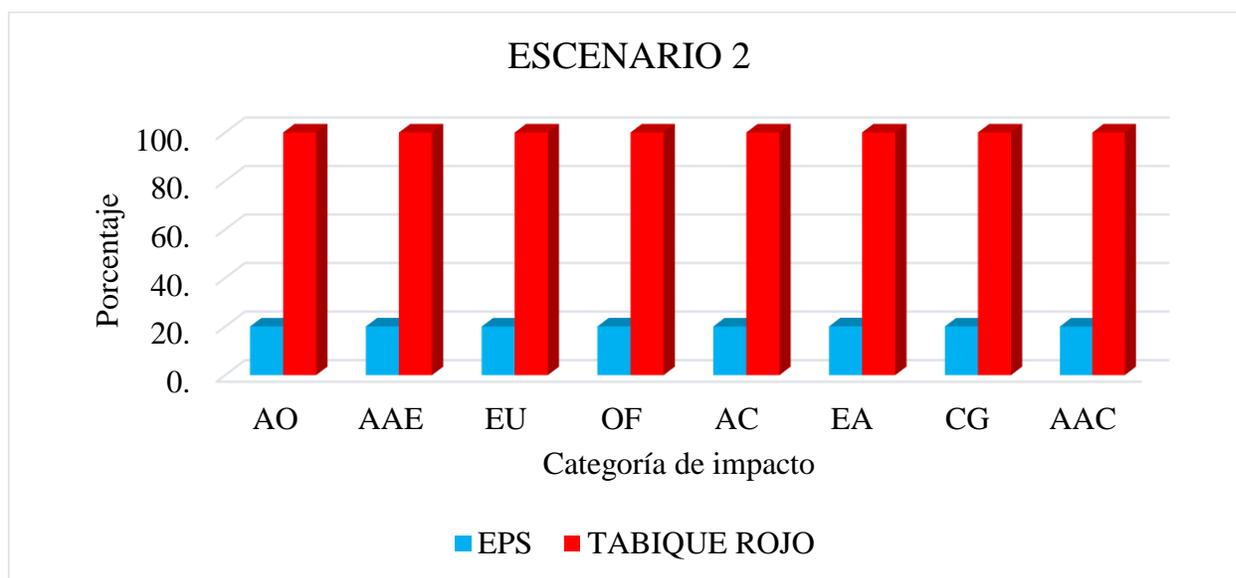


Figura 35 Gráfica de resultados del escenario 2 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

### 4.3. Escenario 3

En este escenario se mantuvieron las condiciones del escenario 1 y 2, cambiando el tiempo de uso en climatización a 10 años. Es decir, se consideró el transporte de los bloques de EPS desde Chihuahua y Edo. de México, en el caso del sistema constructivo de tabique rojo los materiales son suministrados por una ferretería local. Para ambos sistemas se supone un tiempo de uso en climatización de 10 años.

Sr	Categoría de impacto	Unidad	E3_VIVIENDA_EPS_10A_(MX)	E3_VIVIENDA_TABIQUE_10A_(MX)
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	0.187	0.936
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	2.03	10.2
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	4.36E3	2.18E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	5.42E3	2.71E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	1.01E4	5.03E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	2.26E5	1.13E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	2.43E6	1.21E7
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	3.17E7	1.58E8

Figura 36 Resultados del escenario 3 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 36 se aprecia que el sistema constructivo tradicional tiene impacto mayor ambiental en las ocho categorías de impacto, teniendo que las categorías que generan mayor emisión son el agotamiento de los combustibles fósiles, con 1.58E8 MJ. Esta categoría destaca debido a que la energía eléctrica producida en el país es a partir de combustibles fósiles. Para visualizarlo gráficamente es necesario tener todos los términos en porcentajes (ver Tabla 15 y Figura 37).

Tabla 15 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 3.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLA	PORCENTAJE DE IMPACTO	
		EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	20.0160	100
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	20.0174	100
Eutrofización	EU	20.0065	100
Oxidación fotoquímica	OF	20.021	100
Acidificación	AC	20.0114	100
Escasez de agua	EA	20.0511	100
Calentamiento global	CG	20.0144	100
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	20.0100	100

Nota. Fuente propia.

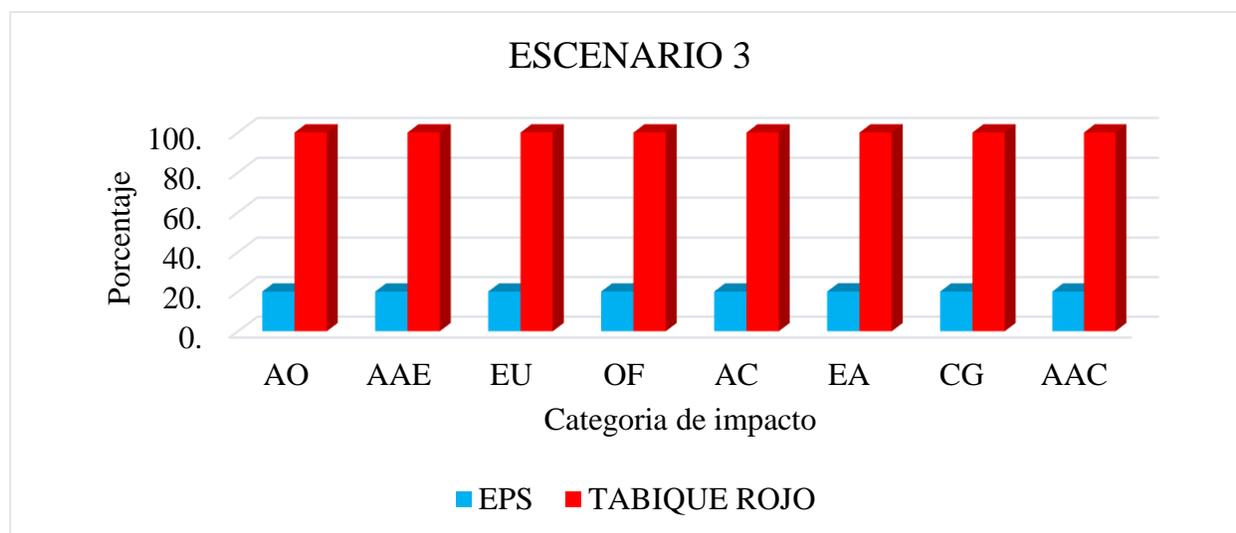


Figura 37 Gráfica de resultados del escenario 3 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Analizando los valores en términos de porcentaje para las ocho categorías se observa que para el escenario 1, 2 y 3 se conserva una tendencia en cuanto al porcentaje de impacto y, retomando lo observado en los diagramas de red del escenario 1, se tiene que dicha tendencia es causada porque la etapa del ciclo de vida que tiene mayor impacto ambiental es la etapa de uso debido a que en México la producción de energía eléctrica es por el uso de combustibles fósiles.

### 4.4. Escenario 4

En este escenario se consideró el transporte de los bloques de EPS suponiendo la planta en La Junta, Huajuapán de León, Oaxaca, México, según lo propuesto por Hernández (2020). En el caso del sistema constructivo tradicional los materiales son suministrados por una ferretería local. Para ambos sistemas se supuso un tiempo de uso en climatización de 1 año. Esto con la finalidad de conocer la influencia de esta etapa en el ciclo de vida de una vivienda.

S.	Categoría de impacto	Unidad	E4_VIVIENDA_EPS_PHJ_1A_{MX} /	E4_VIVIENDA_TABIQUE_1A_{MX}
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	0.0188	0.0936
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	0.205	1.02
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	437	2.18E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	546	2.71E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	1.01E3	5.04E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	2.31E4	1.13E5
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	2.44E5	1.21E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	3.18E6	1.58E7

Figura 38 Resultados del escenario 4 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Se observa que el sistema constructivo EPS tiene menor emisión en las ocho categorías de impacto, donde en el agotamiento de la capa de ozono emite 0.0188 kg CFC-11 eq y en el agotamiento abióticos de los combustibles fósiles genera 3.18E6 MJ. Aunado a ello se observa que, en comparación al escenario 1, numéricamente no hay una variación amplia en la cantidad de emisiones por categoría de impacto debido a que la entrada que genera mayor emisión es la energía eléctrica, como lo muestra el gráfico de red de cada sistema constructivo. Por tal razón, para un

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

producto como una vivienda donde la etapa de uso de dichos sistemas es la más prolongada en el ciclo de vida, es importante disminuir el impacto ambiental de la misma. Para visualizarlo gráficamente es necesario tener todos los términos en porcentajes (ver Tabla 16 y Figura 39).

Tabla 16 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 4.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLA	PORCENTAJE DE IMPACTO	
		EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	20.1253	100
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	20.1227	100
Eutrofización	EU	20.055	100
Oxidación fotoquímica	OF	20.1585	100
Acidificación	AC	20.0926	100
Escasez de agua	EA	20.4942	100
Calentamiento global	CG	20.1297	100
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	20.0836	100

Nota. Fuente propia.

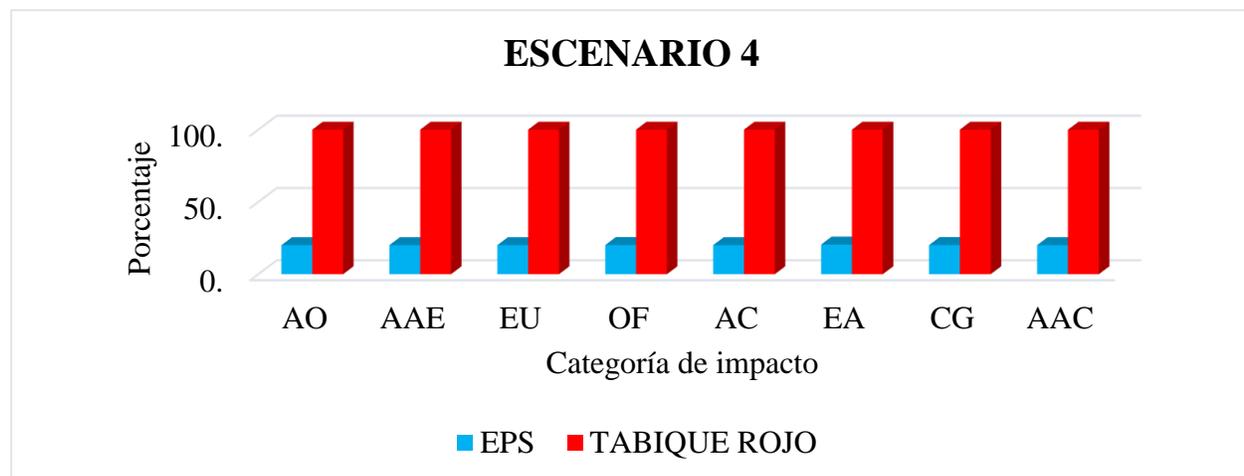


Figura 39 Gráfica de resultados del escenario 4 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

#### 4.5. Escenario 5

Se consideró el transporte de los bloques de EPS suponiendo la planta en La Junta, Huajuapán de León, Oaxaca, México, según lo propuesto por Hernández (2020). En el caso del sistema constructivo tradicional los materiales son suministrados por una ferretería local. Para ambos sistemas se supuso un tiempo de uso en climatización de 5 años

Sl	Categoría de impacto	Unidad	E5_VIVIENDA_EPS_PHJ_5A_{MX} /	E5_VIVIENDA_TABIQUE_5A_{MX}
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	0.0937	0.468
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	1.02	5.08
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	2.18E3	1.09E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	2.71E3	1.35E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	5.04E3	2.52E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	1.13E5	5.63E5
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.21E6	6.07E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	1.59E7	7.92E7

Figura 40 Resultados del escenario 5 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

La Figura 40 presenta que el sistema constructivo tradicional si es utilizada por 5 años emite para el agotamiento de la capa de ozono 0.468 kg CFC-11 eq y 7.92E7 MJ en agotamiento abiótico de los combustibles fósiles. Aunado a ello se observa que en comparación al escenario 2, donde se varía el transporte para el sistema constructivo EPS, no se logra visualizar una variación en la cantidad de emisiones por categoría de impacto debido a que la entrada que genera mayor emisión es la energía eléctrica. Para visualizarlo gráficamente es necesario tener todos los términos en porcentajes (ver Tabla 17 y Figura 41).

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 17 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 5.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLA	PORCENTAJE DE IMPACTO	
		EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	20.0250	100
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	20.0246	100
Eutrofización	EU	20.0110	100
Oxidación fotoquímica	OF	20.0317	100
Acidificación	AC	20.0185	100
Escasez de agua	EA	20.099	100
Calentamiento global	CG	20.0259	100
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	20.0167	100

Nota. Fuente propia.

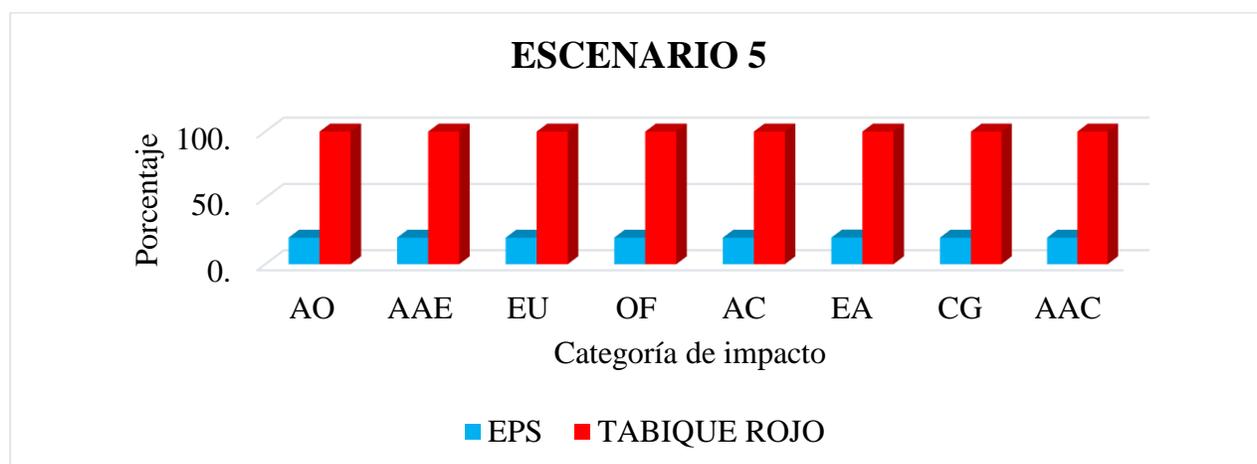


Figura 41 Gráfica de resultados del escenario 5 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

### 4.6. Escenario 6

Se consideró el transporte de los bloques de EPS suponiendo la planta en La Junta, Huajuapán de León, Oaxaca, México, según lo propuesto por Hernández (2020). En el caso del sistema constructivo tradicional los materiales son suministrados por una ferretería local. Para ambos sistemas se supuso un tiempo de uso en climatización de 10 años.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sr	Categoría de impacto	Unidad	E6_VIVIENDA_EPS_PHJ_10A_{M /	E6_VIVIENDA_TABIQUE_10A_{MX}
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	0.187	0.936
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	2.03	10.2
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	4.36E3	2.18E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	5.42E3	2.71E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	1.01E4	5.03E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	2.26E5	1.13E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	2.43E6	1.21E7
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	3.17E7	1.58E8

Figura 42 Resultados del escenario 6 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

El sistema constructivo de tabique rojo comparado con el de EPS impacta significativamente al ambiente, como se observa en la Figura 42, donde el crecimiento del impacto ambiental de cada sistema constructivo incrementa directamente con relación al tiempo y consumo energético debido, a que en México la generación de energía eléctrica no es a través de fuentes no contaminantes o renovables. Para este escenario con un tiempo de uso de 10 años, se tiene que a pesar de cambiar una opción de transporte, estos valores se ven insignificantes en comparación con la etapa de uso. Es imprescindible disminuir el consumo eléctrico en esta etapa porque es la más prolongada para un producto como la vivienda con la finalidad de disminuir el impacto ambiental. Al igual que los 5 escenarios previos, se aprecia que la categoría que genera mayor emisión es la de agotamiento de los combustibles fósiles, con 1.58E8 MJ. Aunado a ello se aprecia que en comparación al escenario 3 no se logra apreciar una variación en la cantidad de emisiones por categoría de impacto debido a lo explicado anteriormente. Para visualizarlo gráficamente es necesario tener todos los términos en porcentajes (ver Tabla 18 y Figura 43).

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 18 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 6.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLA	PORCENTAJE DE IMPACTO	
		EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	20.0125	100
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	20.0123	100
Eutrofización	EU	20.0055	100
Oxidación fotoquímica	OF	20.0159	100
Acidificación	AC	20.0093	100
Escasez de agua	EA	20.0495	100
Calentamiento global	CG	20.013	100
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	20.0084	100

Nota. Fuente propia.

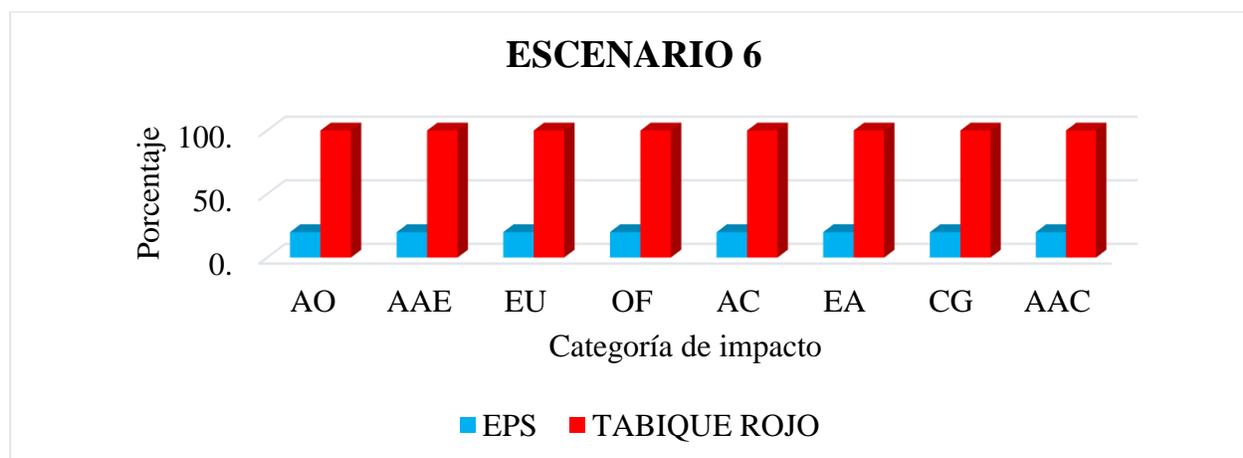


Figura 43 Gráfica de resultados del escenario 6 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

### 4.7. Escenario 7

Al observar los resultados obtenidos en los escenarios 1 al 6, donde se analizan el ciclo de vida de la vivienda con dos opciones diferentes de transporte para el bloque de EPS, se consideró sustancial conocer los valores de impacto ambiental para cada una de las etapas del ciclo de vida de cada sistema y compararlas entre sí. En este escenario se consideró solamente los materiales para ambos sistemas constructivos. Los valores obtenidos por categoría de impacto se observan en la Figura 44.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sr.	Categoría de impacto	Unidad	VIVIENDA_EPS(MX)	/	VIVIENDA_TABIQUE_ROJO(MX)
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	6.35E-5		4.18E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	0.00135		0.000948
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	1.25		0.649
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	4.39		2.45
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	4.57		2.22
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	569		179
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.64E3		660
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	9.41E3		5.28E3

Figura 44 Resultados del escenario 7 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

De acuerdo a los cálculos obtenidos con SimaPro, el sistema constructivo EPS tiene mayor impacto ambiental en el apartado de materiales utilizados en la etapa de construcción, teniendo que la categoría que genera mayor emisión es la de agotamiento de los combustibles fósiles, con 9.41E7 MJ. Para visualizarlo gráficamente es necesario tener todos los términos en porcentajes (ver Tabla 19 y Figura 45) en donde se observa que el promedio de impacto ambiental por las 8 categorías de impacto es de 52.57%.

Tabla 19 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 7.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLA	PORCENTAJE DE IMPACTO	
		EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	100	65.8293
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	100	70.4089
Eutrofización	EU	100	52.0951
Oxidación fotoquímica	OF	100	55.6648
Acidificación	AC	100	48.6369
Escasez de agua	EA	100	31.5182
Calentamiento global	CG	100	40.2243
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	100	56.0817

Nota. Fuente propia.

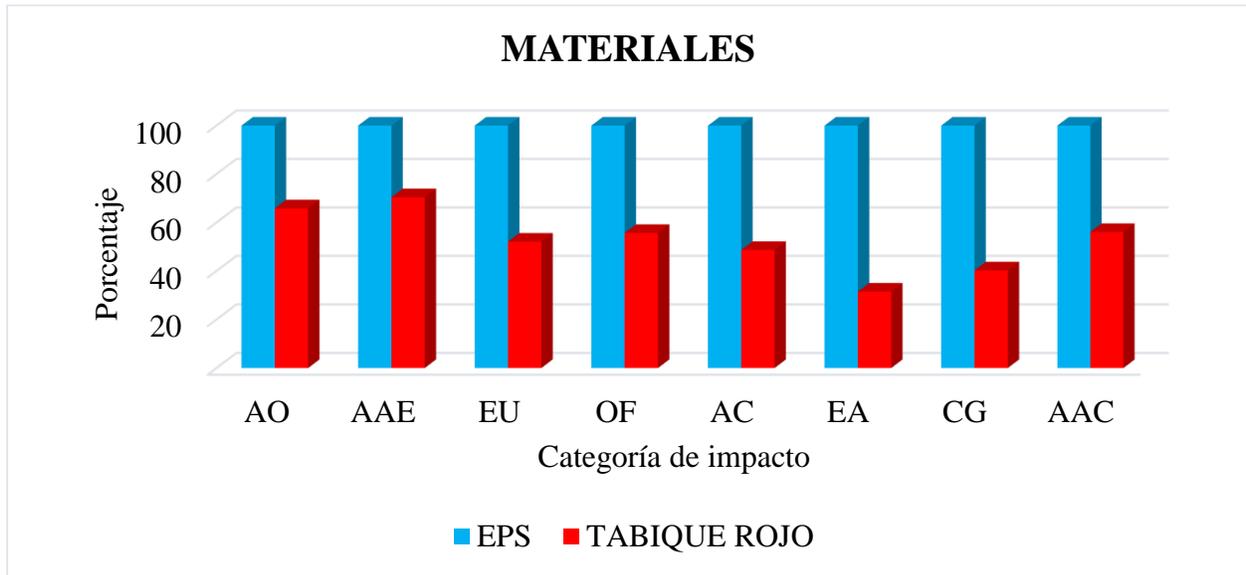


Figura 45 Gráfico de resultados del escenario 7 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

En el gráfico de red del sistema constructivo EPS (ver Figura 46) se observa que los materiales que generan mayor impacto ambiental son el cemento emitiendo 1.3E3 kg CO<sub>2</sub> eq, acero con 176 kg CO<sub>2</sub> eq, grava 86.3 kg CO<sub>2</sub> eq, arena 39.3 kg CO<sub>2</sub> eq y poliestireno expandido 32.6 kg CO<sub>2</sub> eq, en orden de mayor impacto ambiental respectivamente. Esto debido a que el sistema lleva consigo un vaciado de cemento en su interior que requiere mayor cantidad de mortero.

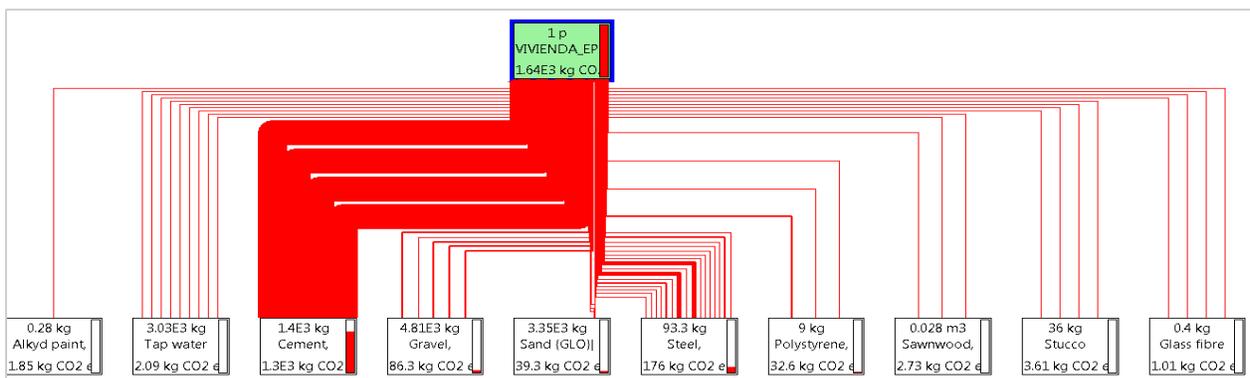


Figura 46 Gráfico de red de materiales del sistema constructivo EPS por SimaPro.

Nota. Fuente propia.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el gráfico de red del sistema constructivo tradicional (ver Figura 47) se observa que los materiales que generan mayor impacto ambiental son el cemento emitiendo 269 kg CO<sub>2</sub> eq, tabique rojo con 175 kg CO<sub>2</sub> eq, acero con 118 kg CO<sub>2</sub> eq y madera con 41.8 kg CO<sub>2</sub> eq, datos que tienen relevancia significativa en el entorno respectivamente. En este sistema el impacto generado por parte del cemento es menor debido a que el mortero solamente se utiliza como elemento de unión.

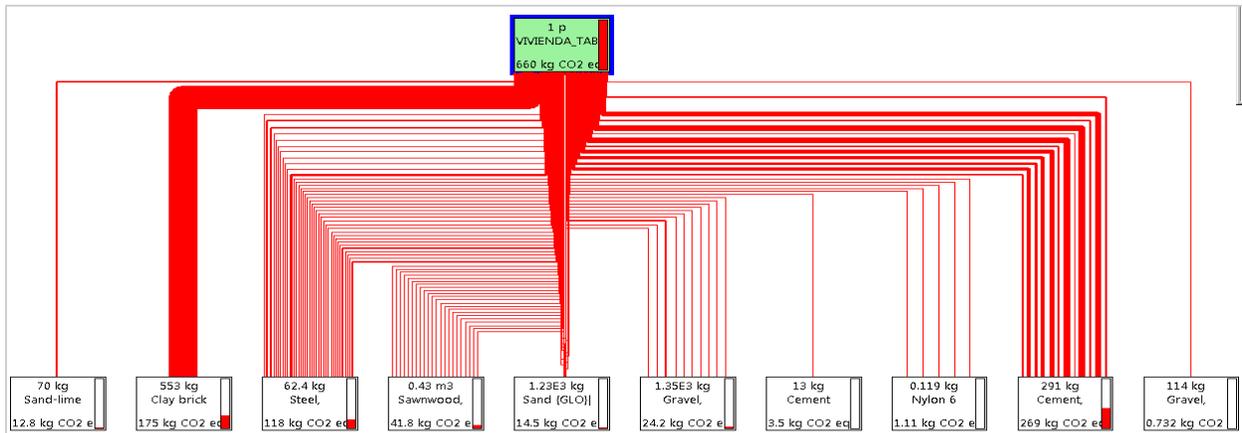


Figura 47 Gráfico de red de materiales del sistema constructivo de tabique rojo por SimaPro.

Nota. Fuente propia.

### 4.8. Escenario 8

En este escenario se buscó cuantificar el impacto ambiental de los tres tipos de transporte que se implementan: para el transporte de los bloques de EPS desde Chihuahua y Edo. de México; suponiendo la planta en la Junta, Huajuapán de León, Oaxaca, según Hernández (2020), y el transporte desde la ferretería local. Los valores obtenidos por categoría de impacto se observan en la Figura 48.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si	Categoría de impacto	Unidad	TRANSPORTE_EPS_(MX)	/	TRANSPORTE_EPS_PHJ_(MX)	TRANSPORTE_TABIQUE_(MX)
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	3.58E-5		3.64E-6	3.52E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	0.0006		8.11E-5	7.93E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	0.241		0.0282	0.0274
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	1.19		0.107	0.103
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	1.52		0.131	0.126
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	21		2.62	2.55
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	196		21.7	21.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	2.97E3		316	306

Figura 48 Resultados del escenario 8 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Como se podía comprender, el transporte con mayor impacto para este caso de estudio es aquel con mayores kilómetros recorridos, es decir, el que viene de Chihuahua y Edo. de México que emite 2.97E3 MJ en la categoría de agotamiento abiótico de los combustibles fósiles. En el caso del transporte de los bloques de EPS con la ubicación propuesta por Hernández (2020) se emitió 316 MJ y 306 MJ son emitidos para el transporte desde la ferretería local. Para visualizarlo gráficamente es necesario tener todos los términos en porcentajes (ver Tabla 20 y Figura 49).

Tabla 20 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 8.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLA	PORCENTAJE DE IMPACTO DE TRANSPORTE		
		ACTUAL EPS	PROPUESTA PLANTA EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	100	10.1425	9.8264
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	100	13.5182	13.214
Eutrofización	EU	100	11.6919	11.3812
Oxidación fotoquímica	OF	100	9.0256	8.7056
Acidificación	AC	100	8.6340	8.3127
Escasez de agua	EA	100	12.4436	12.1356
Calentamiento global	CG	100	11.1033	10.7905
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	100	10.6256	10.3112

Nota. Fuente propia.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

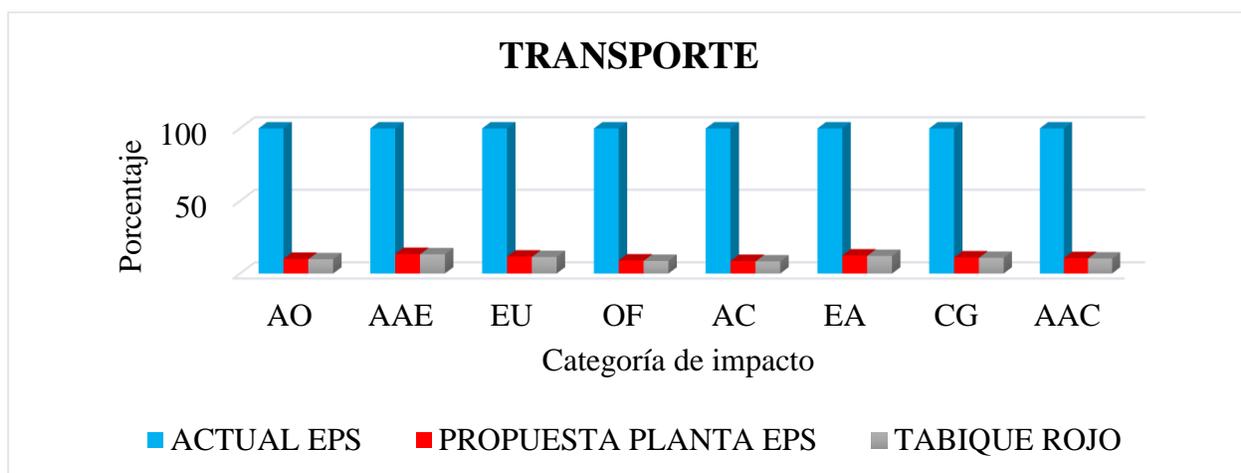


Figura 49 Resultados del escenario 8 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

### 4.9. Escenario 9

Este escenario consideró la energía utilizada por las maquinarias, en este caso, el combustible gastado por las mismas para realizar transformaciones por cada sistema constructivo. Los valores obtenidos por categoría de impacto se observan en la Figura 50.

Sr	Categoría de impacto	Unidad	ENERGIA_MAQ_EPS_{(MX)}	/	ENERGIA_MAQ_TABIQUE_{(MX)}
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	2.73E-5		2.23E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	6.02E-5		4.94E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	0.0624		0.00512
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	0.288		0.0236
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	0.462		0.0379
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	22.1		1.81
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	47.9		3.93
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	4.71E3		386

Figura 50 Resultados del escenario 9 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

El sistema constructivo EPS tiene mayor impacto ambiental en las ocho categorías de impacto para el apartado de transformaciones en la etapa de construcción, teniendo que la categoría que genera mayor emisión es la de agotamiento de los combustibles fósiles, con 4.71E3 MJ. Este resultado se obtuvo estos valores porque el sistema constructivo EPS utiliza un mayor número de

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

maquinaria en comparación con la vivienda de tabique rojo, por ejemplo, el uso de compresor para el trazo y nivelación. Para visualizarlo gráficamente es necesario tener todos los términos en porcentajes (ver Tabla 21 y Figura 51).

Tabla 21 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 9.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLA	PORCENTAJE DE IMPACTO	
		EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	100	8.1715
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	100	8.2073
Eutrofización	EU	100	8.2039
Oxidación fotoquímica	OF	100	8.2059
Acidificación	AC	100	8.2062
Escasez de agua	EA	100	8.207
Calentamiento global	CG	100	8.2052
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	100	8.2072

Nota. Fuente propia.

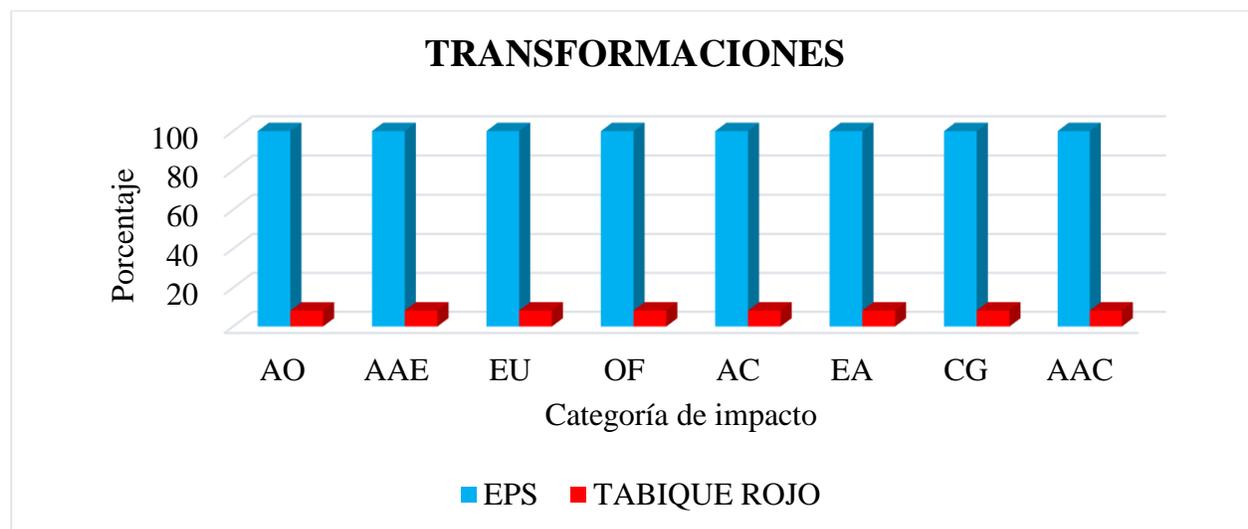


Figura 51 Gráfica de resultados del escenario 9 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.10. Escenario 10

Se tomó en consideración la climatización de ambos sistemas constructivos para 1, 5 y 10 años, respectivamente. Para ambos sistemas se supone un tiempo de uso en climatización de 1 año. Los valores obtenidos por categoría de impacto se observan en las Figuras 52 y 53.

Sr	Categoría de impacto	Unidad /	CLIMATIZACION_VIVIENDA_EPS_1 A. (MX)	CLIMATIZACION_VIVIENDA_EPS_1 A. (MX)	CLIMATIZACION_VIVIENDA_EPS_5 A. (MX)
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	0.0187	0.187	0.0935
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	2.43E5	2.43E6	1.21E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	541	5.41E3	2.71E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	436	4.36E3	2.18E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	0.203	2.03	1.02
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	1.01E3	1.01E4	5.03E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	2.25E4	2.25E5	1.13E5
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	3.17E6	3.17E7	1.58E7

Figura 52 Parte 1 de resultados del escenario 10 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Sr	Categoría de impacto	Unidad /	CLIMATIZACION_VIVIENDA_TABIC A. (MX)	CLIMATIZACION_VIVIENDA_TABIC A. (MX)	CLIMATIZACION_VIVIENDA_TABIC A. (MX)
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	0.0935	0.935	0.468
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.21E6	1.21E7	6.06E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg NMVOC	2.71E3	2.71E4	1.35E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	2.18E3	2.18E4	1.09E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	1.02	10.2	5.08
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	5.03E3	5.03E4	2.52E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Water scarcity	m3 eq	1.13E5	1.13E6	5.63E5
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	1.58E7	1.58E8	7.92E7

Figura 53 Parte 2 de resultados del escenario 10 en SimaPro.

Nota. Fuente propia.

Conocer el impacto ambiental solamente de la etapa de uso es importante debido a que, de las diferentes etapas del ciclo de vida de los sistemas constructivos, es la etapa con mayor impacto ambiental. De las figuras anteriores se aprecia que el impacto ambiental por consumo energético por 5 años de vivienda de EPS es igual al impacto ambiental generado por una vivienda de tabique rojo por un año en consumo energético por climatización. Para visualizarlo gráficamente es necesario tener todos los términos en porcentajes (ver Tabla 22 y Figura 54).

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 22 Porcentajes por categoría de impacto para escenario 10.

CATEGORÍA DE IMPACTO	SIGLAS	PORCENTAJE DE IMPACTO POR TIEMPO DE CONSUMO ENERGÉTICO					
		1 AÑO		5 AÑOS		10 AÑOS	
		EPS	TABIQUE ROJO	EPS	TABIQUE ROJO	EPS	TABIQUE ROJO
Agotamiento de la capa de ozono	AO	2	10	10	50	20	100
Agotamiento abiótico, elementos	AAE	2	10	10	50	20	100
Eutrofización	EU	2	10	10	50	20	100
Oxidación fotoquímica	OF	2	10	10	50	20	100
Acidificación	AC	2	10	10	50	20	100
Escasez de agua	EA	2	10	10	50	20	100
Calentamiento global	CG	2	10	10	50	20	100
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles	AAC	2	10	10	50	20	100

Nota. Fuente propia.

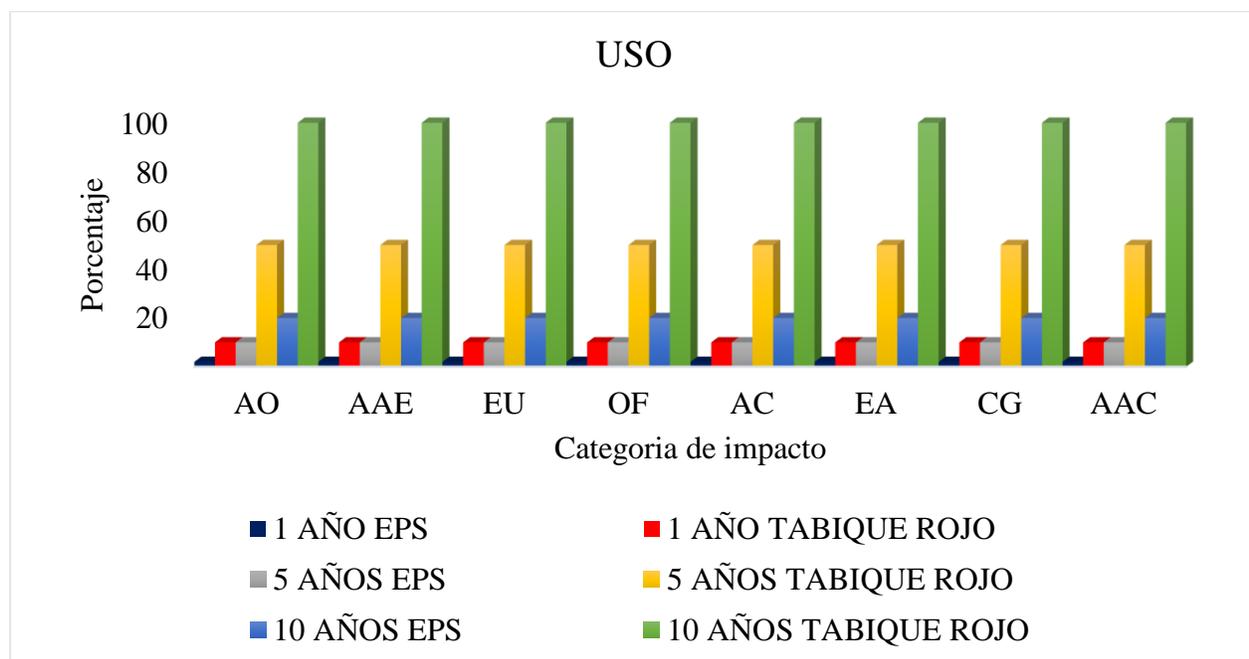


Figura 54 Gráfica de resultados del escenario 10 por categoría de impacto y porcentaje.

Nota. Fuente propia.

### CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Una vez realizado el trabajo de tesis, se obtienen las siguientes conclusiones:

El sistema constructivo EPS tiene en promedio por las 8 categorías de impacto el 89.48% más de impacto ambiental en la etapa de transporte comparado con el sistema constructivo tradicional debido a que la empresa productora de los bloques lineales y esquineros está ubicada en Chihuahua y la empresa del bloque estrutec está en Edo. de México. Este resultado es claro de forma cualitativa, sin embargo, gracias a esta simulación se conoce que, para este proceso, la categoría de mayor impacto ambiental es el agotamiento abiótico de los combustibles fósiles que genera  $2.97E3$  MJ para el transporte actual que realizan al trasladar los bloques de EPS desde Chihuahua y Edo. de México; se generarían 316 MJ en dicho traslado si la planta de EPS estuviera ubicada en la Junta, Huajuapán de León y se genera 306 MJ para el traslado de materiales desde la ferretería local hasta el Fraccionamiento Álamos, por lo tanto, se observó que la instalación de la planta manufacturera de bloques EPS para viviendas en La Junta, Huajuapán de León, Oaxaca, México según lo propuesto por Hernández (2020), es una alternativa que disminuye en promedio por las 8 categorías de impacto ambiental un 89.10% en la etapa del transporte para el sistema constructivo de EPS.

El sistema constructivo EPS tiene mayor impacto ambiental en la etapa de construcción de la vivienda, en el apartado de materiales tiene en promedio un 47.43% más impacto en las ocho categorías que el sistema constructivo tradicional y en el apartado de transformaciones tiene en promedio el 91.79% de mayor impacto ambiental en las 8 categorías. Según lo observado en el diagrama de red de dicho sistema y los inventarios, utiliza una mayor cantidad de cemento por el vaciado que se debe realizar en el interior de los bloques, donde sólo este material genera  $1.3E3$  kg  $CO_2$  eq. Aunado a ello, este sistema utiliza mayor cantidad de maquinaria que el sistema constructivo tradicional, por ejemplo, en la etapa de trazo y nivelación utiliza pintura y un compresor para realizar dichas actividades, dando como resultado una mayor cantidad de combustible consumido. Se recomienda utilicen cal

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

---

junto con el hilo de nylon para esta actividad lo cual eliminaría el uso del compresor y la pintura, disminuyendo de este modo el impacto ambiental.

El sistema constructivo de EPS es una alternativa sostenible a largo plazo en comparación con el sistema constructivo tradicional que utiliza tabique rojo a lo largo de su ciclo de vida y, según lo observado en el escenario 3, el sistema constructivo tradicional tiene en promedio por las 8 categorías de impacto un 79.98% más impacto ambiental que el sistema constructivo EPS. Se observó que la categoría de mayor impacto ambiental es la de agotamiento abiótico de los combustibles fósiles, para el sistema constructivo EPS y el sistema constructivo tradicional, emitiendo  $3.17E7$  MJ y  $1.58E8$  MJ respectivamente. Esto se debe a que disminuye su consumo energético en climatización en la etapa de uso por sus propiedades aislantes. Cabe resaltar, que un sistema constructivo EPS en 5 años consume la energía eléctrica que un sistema constructivo tradicional consume en 1 año, es decir, el sistema constructivo de EPS utiliza 80% menos de consumo en energía eléctrica en climatización que el sistema constructivo tradicional. Se observó que el consumo de energía eléctrica es el que genera mayor impacto ambiental, al disminuir el consumo del mismo no sólo se disminuye el impacto ambiental, sino que también implica un beneficio económico para el usuario de dicha vivienda ya que disminuye costos por energía eléctrica manteniéndose en una temperatura confortable. Cumpliéndose así la relación del pensamiento del ciclo de vida.

Obtener los impactos ambientales en diferentes escenarios para ambos sistemas constructivos permite tener un panorama general del impacto ambiental de dichos sistemas en diferentes escenarios de uso principalmente debido a que una vivienda es un producto que tiene un tiempo de vida prolongado y es esa etapa la de mayor tiempo, lo que le brindará a la empresa identificar las áreas de oportunidad del sistema constructivo que está implementando, los impulsará a continuar con los estudios referentes a la etapa de uso y demolición y disposición final de los residuos. Se recomienda a la constructora realizar una evaluación de la maquinaria que se utiliza para sus diferentes procesos, teniendo como uno de los criterios principales de corte la capacidad del mismo referente a su capacidad de producción. Aunado a ello, con la metodología implementada la constructora podrá obtener una eco-etiqueta para su sistema constructivo.

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

---

El software SimaPro es una herramienta de cálculo práctica que permite visualizar los impactos ambientales de acuerdo al interés de usuario, permitiéndole seleccionar la metodología que se acople a sus necesidades para evaluar el impacto ambiental de acuerdo a lo que se desee conocer. Sin embargo, el ACV es una tarea lenta y costosa pues hay que tener los inventarios del ciclo de vida del proceso a analizar y, posteriormente, se deben homogeneizar con la base de datos que proporciona el software puesto que sus unidades están en términos de masa y volumen.

## REFERENCIAS

- Agazapic, A. (1999). *Life cycle assessment and its application to process selection, desing and optimisation*. Renewable Energy (vol. 30, p. 1031-1054).
- Agazapic, A. & Clift, R. (1999). *Life cycle assessment and multiobjective optimisation*. Journal of Cleaner Production (vol. 7, p. 135-143).
- Aranda, A. & Zabalza, I. (2010). *Ecodiseño y análisis de ciclo de vida. Guía sobre la declaración ambiental de producto y cálculo de huella de carbono*. Universidad de Zaragoza
- Ardente, F., Beccali, G., Cellura, M. & Lo Brano, V. (2005). *Life cycle assessment of a solar thermal collector*. Renewable Energy (vol.30, p.1031-1054).
- Arenas, F.J. (2007). *El impacto ambiental en la construcción industrial: criterios para una construcción sostenible*. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Bono, V. et al. (2017). *Análisis de diversas metodologías de evaluación del impacto del ciclo de vida*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Bovea, M.D. & Vidal, R. (2004). *Increasing product value by integrating environmental impact, costs and customer valuation*. Resources, Conservation and Recycling (vol.41, p. 133-145).
- Bretz, R. & Frankhouser, P. (1996). *Screening LCA for large numbers of products: Estimation tools to fill data groups*. The International Journal of Life Cycle Assessment (vol.1, p. 139-146).
- CEMEX Concretos. (s.f.). *Manual del constructor*. CEMEX.
- Cruz, G. & Durán (2012). *El consumo de energía eléctrica en los hogares de México por nivel de ingresos*. México.
- Dahllof, L. (2003). *Life Cycle Assessment (LCA) applied in the textile sector: the usefulness, limitations and methodological problems-A literature review*. Goteborg, Sweden: Chalmers University of Technology.
- De Buruaga, S. & Zúfia, J. M. (1996). *Análisis de ciclo de vida para la reducción de impactos medioambientales generados por el sector agroalimentario Vasco*. Rev. Agroalimentaria (vol. 49, p. 48-50).

- De Monte, M., Padoano, E. & Pozzetto, D. (2005). *Alternative coffee packaging: an analysis from a life cycle point of view*. Journal of Food Engineering (vol. 66, p. 405-411).
- DEFRA. (2000). *The Government's Response to the Royal Commission on Environmental Pollution's*. Department for Environment, Food & Rural Affairs.
- Estrutec. (s.f.). *Casetón estructural térmico*. Consultado en <http://www.estrutec.com.mx/videogaleria.html>
- Gil, R. (2019). *Efectos ambientales en fase de construcción*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Haya, E. (2016). *Análisis de ciclo de vida*. España: Escuela de Organización Industrial.
- Hernández, M. (2020). *Propuesta de distribución de una planta para un sistema de moldeo de poliestireno expandido (EPS) aplicado en la industria de la construcción*. México: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Horvarth, J.S. (1999). *Lessons learned from involving Geofoam in Roads and Embankment*. Manhattan College Research.
- ICF México. (2019). *Distintos tipos de ICF*. Obtenido de <https://www.icfmexico.com/productos>
- INEGI. (2009). *Economía. Construcción*. Recuperado 13 febrero, 2020, de <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/secundario/construccion/default.aspx?tema=E>
- ISO. (2006). *ISO 14040-2006 Gestión ambiental-Análisis del ciclo de vida-Principios y marco de referencia*. Recuperado 20 enero, 2020, de <https://www.iso.org/obp/ui>
- Martínez, A. (2013). *Sistemas constructivos innovadores para la construcción de vivienda de interés social*. Universidad Autónoma de Coahuila.
- Martínez, N. (2012). *Construcción con paneles estructurales de poliestireno expandido*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Mohammed, M. (2000). *The ISO 14001 EMS implementation process and its implications: A case study of Central Japan*. Environmental Management (vol. 25, p. 177-188).
- Molina, M. (2014). *Análisis de Ciclo de Vida: Edificaciones*. Centro Mario Molina.
- Monroy, N., Van Hoof, B. & Espinosa, J.C. (1999). *LCA (Life Cycle Analysis): Una herramienta de la industria para conciliar la crisis ambiental y el desarrollo empresarial*. Revista de Ingeniería: Universidad de los Andes (vol. 9, p. 44-51).

- Morledge, R. & Jackson, F. (2001). *Reducing environmental pollution caused and construction plant*. Environmental Management and Health.
- Pérez et al. (2016). *Evaluación de las propiedades mecánicas del poliestireno expandido*. Sanfandila, Qro.
- Romero, B.I. (2003). *El análisis de ciclo de vida y gestión ambiental*. Tendencias tecnológicas.
- SimaPro. (s.f-a). *SimaPro*. Recuperado 18 febrero, 2020, de <https://www.simapro.mx/>
- Sociedad Pública Gestión Ambiental IHOBE. (2002). *Manual Práctico de Ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos*. Eusko Jaurlaritza Vasco: IHOBE S.A.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry. (2012). *Home*. Recuperado 14 marzo 2020, de <https://www.setac.org/>.
- Trama, L. & Troiano, J.C. (2001). *Análisis del ciclo de vida según las normas de la subserie IRAM-ISO 14040*. Construir, número 57, enero/febrero. ISBN 987-01-0174-7.
- Van Hoof, B., Monroy, N. & Saer, A. (2008). *Producción más limpia. Paradigma de gestión ambiental*. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A.
- Weather Spark (s.f.). *El clima promedio en Huajuapán de León, México*. Consultado en <https://es.weatherspark.com/y/7371/Clima-promedio-en-Huajuapán-de-Le%C3%B3n-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Wendell, M. (1996). *Análisis del ciclo vital. Gestión de residuos tóxicos, tratamiento, eliminación y recuperación de suelos*. Madrid: McGraw Hill.

# **ANEXOS**

## ANEXO A. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

<b>CONCEPTO</b>	<b>MEDIDAS (m)</b>
Polín de madera	2.5 x 0.1 x 0.1
Duela de 10 cm	2.5 x 0.05 x 0.1
Duela de 15 cm	2.5 x 0.05 x 0.15
Barrote de pino	2.3527 x 0.0889 x 0.0381
Estaca	1 x 0.08 diámetro
Triplay	2.44 x 1.22 x 0.019
Tabla	2.44 x 0.25 x 0.019

<b>CONCEPTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD (KG)</b>
Malla electrosoldada	Rollo	97.0000
Malla de fibra de vidrio	Rollo	2.5000
Hilo de albañil	Rollo	0.8400
Gasolina	Litro	0.7600
Diesel	Litro	0.8500
Armex	Pieza	5.4000
Perfil tubular R-300	Metro	2.1010
Ángulo metálico	Metro	1.8700
Solera	Metro	0.3200
PTR	Metro	11.2200
Tubular 2x2	Metro	12.6060
Tabique pesado	Pieza	5.0000
Tabique rojo	Pieza	3.7850
Petroblock lineal	Pieza	0.5640
Petroblock esquinero	Pieza	0.3890
Estrutec	Pieza	5.0000
Cal	Bulto	25.0000
Cemento Gris Portland	Bulto	50.0000
Mortero	Bulto	40.0000
Aplanado	Bulto	50.0000

Nota. Fuente propia.

ANEXO B. MATERIALES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL

CAPÍTULO	ETAPA	CONCEPTO	CANTIDAD
Preliminares y cimentación	Limpieza, trazo, nivelación y despalme del área del edificio	Hilo de albañil	0.0168
		Polín de madera	0.0005
		Duela de 10 cm	0.0002
		Cal	1.2500
		Clavo de 2 1/2"	0.0500
	Plantilla simple de concreto F'C=100kg/cm <sup>2</sup> de 5 cm de espesor	Polín de madera	0.0200
		Cemento	22.5000
		Arena	41.8500
		Grava	56.3200
		Agua	13.5111
	Zapata de concreto armado, de 15 cm de altura por 90 cm de ancho	Clavo de 2 1/2"	0.1000
		Varilla #3	5.1240
		Alambre recocado	0.2500
		Duela de 15 cm	0.0150
		Clavo de 2 1/2"	0.1000
		Cemento	45.5000
		Arena	114.7000
		Grava	156.6400
	Contratrabe de 20 x 40 cm	Agua	33.9024
		Varilla #2	0.8000
		Varilla #3	3.8900
		Varilla #4	4.3800
		Alambre recocado	0.3000
		Duela de 10 cm	0.0250
		Barrote de pino	0.0127
		Clavo de 2 1/2"	0.2000
		Cemento	17.5000
Arena		41.8500	
Murete de enrase de 14 cm de espesor con tabique tipo pesado de 10x14x28 cm	Grava	56.3200	
	Agua	12.4641	
	Hilo de albañil	0.0016	
	Tabique tipo pesado	70.0000	
	Cemento	6.5000	
Arena	15.5000		
Agua	2.7421		

CAPÍTULO	ETAPA	CONCEPTO	CANTIDAD
Preliminares y cimentación	Cadena de desplante de coconeto armado de 14x25cm	Alambrón	1.9540
		Varilla #3	2.4600
		Alambre recocido	0.2500
		Duela de 10 cm	0.0250
		Barrote de pino	0.0127
		Clavo de 2 1/2"	0.2000
		Cemento	14.0000
		Arena	32.5500
		Grava	45.7600
		Agua	9.9713
	Relleno de cepas	Material de banco	0.7000
		Agua	14.9569
	Albañilería y acabados	Muro de tabique pesado de 10x14x28cm	Hilo de albañil
Tabique rojo			552.6100
Cemento			32.5000
Arena			77.5000
		Agua	14.4583
Castillo de concreto armado de 14x20cm		Alambrón	5.1500
		Varilla #3	9.7500
		Alambre recocido	0.4000
		Duela de 10 cm	0.0728
		Barrote de pino	0.0142
		Polín de madera	0.0375
		Clavo de 2 1/2"	0.4000
		Cemento	25.0000
		Arena	589.0000
		Grava	792.0000
		Agua	17.4497
Cadena intermedia de concreto armado de 14x20cm		Alambrón	1.4400
	Varilla #3	2.6800	
	Alambre recocido	0.3000	
	Duela de 10 cm	0.0200	
	Barrote de pino	0.0079	
	Clavo de 2 1/2"	0.2000	
	Cemento	10.5000	
	Arena	24.8000	
	Grava	33.4400	
		Agua	7.2690

<b>CAPÍTULO</b>	<b>ETAPA</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Albañilería y acabados	Aplanado de muros, acabado fino	Hilo de albañil	0.0336
		Clavo de 2 1/2"	0.1000
		Mortero	13.0000
		Arena	62.0000
		Agua	10.9684
	Firme de concreto de 10 cm reforzado con malla electrosoldada	Malla electrosoldada	0.9700
		Hilo de albañil	0.0504
		Duela de 10cm	0.0100
		Barrote de pino	0.0057
		Clavo de 2 1/2"	0.1000
Cemento		47.5000	
Arena		83.7000	
Grava		116.1600	
Agua		27.0222	
Estructura	Cadena de cerramiento de concreto armado de 14x30cm	Alambrón	2.1000
		Varilla #3	2.7000
		Alambre recocado	0.3000
		Duela de 10cm	0.0200
		Barrote de pino	0.0095
		Clavo de 2 1/2"	0.2000
		Cemento	14.0000
		Arena	34.1000
	Trabe de concreto armado de 20x40cm	Grava	45.7600
		Agua	9.9713
		Alambrón	2.1200
		Varilla del #4	4.9000
		Alambre recocado	0.3000
		Duela de 10 cm	0.0300
		Barrote de pino	0.0095
		Clavo de 2 1/2"	0.2000
Cemento	15.0000		
Arena	34.1000		
Grava	45.7600		
Agua	9.9713		

<b>CAPÍTULO</b>	<b>ETAPA</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
		Alambrón	0.5000
		Varilla del #3	7.0000
		Alambre recocido	0.3000
		Duela de 10cm	0.0500
Estructura	Losa de concreto armado de 10cm de espesor	Barrote de pino	0.0063
		Polín de madera	0.0250
		Clavo de 2 1/2"	0.2500
		Cemento	40.0000
		Arena	82.2500
		Grava	114.4000
		Agua	25.9200

Nota. Fuente propia.

ANEXO C. INVENTARIO DE TRANSFORMACIONES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL

<b>ETAPA</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>CANTIDAD (KG)</b>
Limpieza, trazo, nivelación y despalme	Camión volteo	Diesel	1.4052
	Retroexcavadora	Diesel	0.2805
Excavación en cepas	Retroexcavadora	Diesel	3.5062
Plantilla simple de concreto F´C=100 kg/cm <sup>2</sup>	Revolvedora	Gasolina	0.1824
Zapata de concreto armado	Revolvedora	Gasolina	0.1824
Contratrabe	Revolvedora	Gasolina	0.1824
Relleno de cepas con material inerte	Compactadora	Diesel	0.6528
Firme de concreto	Revolvedora	Gasolina	0.1824
Losa de concreto armado	Revolvedora	Gasolina	0.1824
	Vibrador de concreto	Diesel	0.4634

Nota. Fuente propia.

## ANEXO D. SISTEMA CONSTRUCTIVO DE EPS



Nota. Fuente propia.



Nota. Proporcionado por la constructora de Huajuapán de León.

