

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DURANTE EL CICLO DE VIDA  
DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

Tesis para otorgar el título de Ingeniero Civil, que presenta la bachiller:

**SAMY SALLY SHIRLEY GARCIA TORRES**

**ASESOR: Ph. D. RAMZY KAHHAT ABEDRABBO**

Lima, Enero del 2014

*En primer lugar agradezco a Dios por darme la fortaleza para cumplir con mis objetivos trazados. Agradezco a mis padres Ana y Carlos, mi hermano, mi tía Nora y mi familia quienes siempre me estuvieron brindando todo su apoyo incondicional en estos años. De igual manera, a mis mejores amigos, aquellos que me dieron toda su ayuda y ánimo. Por último a mi alma mater la Pontificia Universidad Católica del Perú, a mis profesores, y en especial a mi asesor Ramzy Kahhat por el apoyo y aliento brindado para cumplir una de mis más grandes metas.*

*Muchas gracias.*

## RESUMEN

En el Perú, los proyectos de construcción tienen un papel importante a nivel nacional, reflejando un notable crecimiento en los últimos años. Una de las causas de este crecimiento es el incremento de la población y la necesidad que existe de tener una vivienda.

El crecimiento en el sector construcción significa progreso para el país a nivel económico, sin embargo, resulta importante indicar que existen desventajas que radican en problemáticas enfocadas al medio ambiente. Asimismo, existe una falta de preocupación, poca sensibilización e información sobre temas que conciernen a los impactos negativos al ambiente.

Por tal motivo, este estudio utiliza la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida para estimar los impactos ambientales de una vivienda unifamiliar limeña durante todas las etapas de su ciclo de vida, desde la extracción y manufactura de materiales, construcción y uso hasta el fin de vida.

Los indicadores ambientales analizados en este estudio son: consumo de energía primaria, emisiones o desechos al suelo, uso de recursos, consumo de combustibles fósiles, potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, criterios de salud humana, potencial de eutrofización y potencial de formación de smog.

Los resultados del estudio reflejan la relevancia de la etapa de uso y pre-uso (en especial manufactura de materiales) en el ciclo de vida de la vivienda seleccionada, sobretodo para el consumo de energía primaria, consumo de combustibles fósiles y potencial de calentamiento global. En las etapas de pre-uso y uso, el consumo de energía primaria fue de 3,432 GJ y 4,480 GJ respectivamente. De la misma forma, los otros indicadores analizados presentan mayor impacto en estas dos primeras etapas, por ello existe la necesidad de tomar iniciativas en la aplicación de nuevas tecnologías y procedimientos que permitan reducir los niveles de impacto generados, considerando además la etapa de fin de vida.

<b>ÍNDICE</b>	
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. DEFINICIÓN DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y LA IMPORTANCIA ACTUAL DE SU APLICACIÓN.	3
<b>CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>8</b>
2.1 HISTORIA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	8
2.1.1 Estudios de Análisis de Ciclo de vida en el Mundo	8
2.1.2 Análisis de ciclo de vida en Latinoamérica	10
2.1.3 Análisis de ciclo de vida en Perú	10
2.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA INFRAESTRUCTURAS Y CONSTRUCCIONES	12
2.2.1 Análisis de ciclo de vida de infraestructuras	12
2.2.2 Análisis de ciclo de vida de inmuebles	13
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b>	<b>16</b>
3.1 DEFINICION DE INDICADORES AMBIENTALES	19
<b>CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE CASO</b>	<b>26</b>
4.1 OBJETIVO Y ALCANCES	26
4.2 ETAPAS DEL CICLO DE VIDA	27
4.3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA	28
4.4 ANÁLISIS DE LA MATRIZ ENERGÉTICA PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO	34
<b>CAPITULO 5. RESULTADOS</b>	<b>39</b>
5.1 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	39
<b>CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>55</b>
6.1 ASPECTOS GENERALES	55
6.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	58
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES</b>	<b>64</b>
<b>REFERENCIAS.</b>	<b>67</b>

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El sector construcción peruano ha crecido considerablemente en los últimos años a consecuencia del desarrollo económico del país y del aumento de la población. Este rubro se encuentra en constante desarrollo y diversos tipos de obras, desde viviendas unifamiliares hasta obras de gran envergadura, se vienen ejecutando en el país (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2013).

Actualmente, este sector es el principal propulsor de la economía peruana, sin embargo, es importante mencionar que cumple con el papel de principal rival de la conservación del medio ambiente. Por este motivo, y debido también a la poca preocupación por parte del ciudadano común en cuestiones ambientales, es evidente la obligación de realizar investigaciones que tengan como objetivo estimar el impacto al ambiente por construcciones y específicamente por viviendas, para que luego sirvan de base para la implementación de normas que rijan los diseños constructivos.

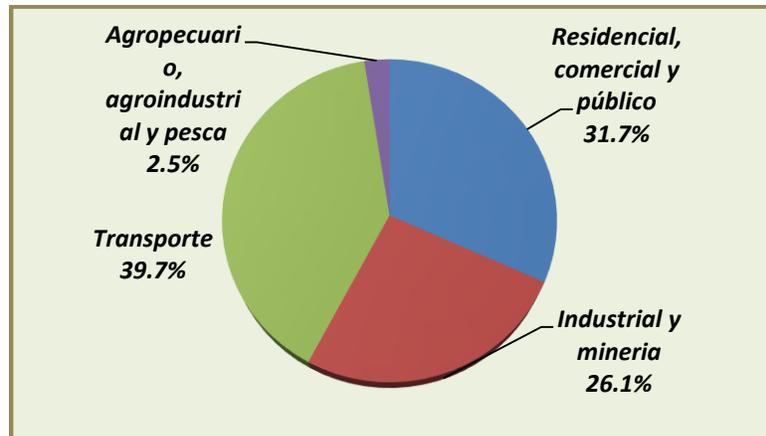
En el Perú, el sector construcción creció en 14.56% el año 2013. Esto se manifestó en el crecimiento del consumo de cemento, el cual fue de 13.32% (INEI, 2012), y en el crecimiento en la inversión de obras, inversiones con un aumento de 25.31%. Además, el número de empleos en el sector construcción, hasta marzo del 2013, tuvo un crecimiento acumulado de 5.4% (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2013).

Asimismo, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), estimó un crecimiento acumulado en el consumo interno del cemento. En comparación con los años anteriores se observa un crecimiento continuo conforme el paso de los años, lo cual indica que el aumento de producción de este insumo continuará de manera exponencial en los próximos años.

En el año 2010 solo en Lima metropolitana, se estimó un número de viviendas de 2209. Este número vino en aumento progresivamente, ya que en el año 2000 se contabilizaron 1824 viviendas, número que se incrementó de manera progresiva en un 82.5% aproximadamente hasta el año 2010 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

Si se realiza un enfoque sobre algún indicador, por ejemplo en energía, se estima que en el 2010 su consumo en el sector transporte fue de 39.7% y en el sector residencial,

comercial y público fue de 207 354 TJ representando el 31.7% del total de energía consumida en el país (Ministerio de Energía y Minas, 2010). Estos resultados muestran una gran brecha en comparación con los sectores industrial y minero. Los sectores Agropecuario, Agroindustrial y Pesca dieron resultados mínimos en el total del consumo energético (2,5% del total).



**Figura 1.1** Estadística de consumo de energía por sectores.

Fuente: Adaptado de Ministerio de Energía y Minas 2010.

La información recaudada, así como el porcentaje de crecimiento en el consumo de cemento, están relacionados directamente con un aumento en la generación de impacto negativo al medio ambiente en la etapa de pre-uso de la construcción. La información sobre el consumo de energía en residencias y comercios en la etapa de uso, brinda una idea de la relevancia de este sector constructivo en el tema de impacto ambiental.

En la actualidad, se afronta una realidad donde el crecimiento económico y social van de la mano con la incorporación de reformas políticas en conservación del medio ambiente. El desarrollo progresivo del país, debe considerar los factores que involucran el entorno del ser humano, es por ello que el progreso económico y social debe seguir un camino de desarrollo sostenible.

Por este motivo, existe la necesidad de realizar una evaluación más específica y detallada sobre el uso intensivo de recursos en el área de construcción. Resulta cada vez más de carácter obligatorio efectuar estudios no solo de construcciones de viviendas en Lima

sino de viviendas en el país. Es indispensable encontrar y proponer alternativas que sean constructivamente adecuadas en el aspecto ambiental, para de esta forma poder lograr, empezando por el diseño de la vivienda, resultados con calificación de sostenible.

Finalmente, es por ello que se buscan diferentes herramientas que permitan evaluar los impactos ambientales que surgen, como el análisis de ciclo de vida (ACV).

En Lima, las viviendas construidas se clasifican en tres grandes grupos siendo las viviendas del sector A (también llamadas viviendas “top”) las que ocupan el último lugar en cantidad, con una presencia de 16% sobre el total de viviendas. El segundo lugar lo ocupan las viviendas del sector B las cuales pertenecen al grupo de personas con menor poder adquisitivo, y finalmente la mayor cantidad de viviendas pertenecen al sector C de la población, población que cuenta con escasos recursos. Por lo anterior, es posible decir que la mayoría de viviendas en la ciudad son pertenecientes a un sector de la población con bajos recursos económicos.

El siguiente proyecto está enfocado específicamente en viviendas del sector A debido a la disponibilidad de información con la que se contaba y a la gran presencia de nuevas construcciones de viviendas en este sector de la población.

En el capítulo 2 se mostrará el estado del arte sobre el tema de tesis, teniendo en cuenta una serie de definiciones fundamentales y una visión amplia sobre estudios anteriormente realizados. En el capítulo 3 se presentará la metodología utilizada en la realización del proyecto.

Luego, en el capítulo 4, se abarcará el caso de estudio del proyecto donde se incluirán la definición del sistema así como la definición de indicadores ambientales a evaluar. El capítulo 5 muestra los resultados obtenidos, estos serán analizados y posteriormente comparados con estudios realizados anteriormente en otros países. Por último, en el capítulo 6 se trabajarán las conclusiones basadas en los resultados cuantitativos estimados y su vinculación con la teoría.

## **1.1 DEFINICIÓN DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y LA IMPORTANCIA ACTUAL DE SU APLICACIÓN**

Como parte de un plan de gestión para el tema de desarrollo sostenible, es importante hacerle frente a los problemas medioambientales que afrontamos día a día. Para ello, es necesario hacer uso de herramientas útiles que posean un enfoque ambiental, además del aspecto social y económico. Bajo esta idea, existe una herramienta con enfoque ambiental la cual colabora en el tema de desarrollo sostenible, esta es el Análisis de ciclo de vida (ACV).

El ACV es una herramienta que tiene como finalidad cuantificar los impactos ambientales de un bien o servicio, a través del ciclo de vida del mismo.

Para la aplicación de esta metodología, es necesario definir como primer paso la unidad funcional del análisis y posteriormente continuar con las siguientes etapas que involucran la realización del ACV:

1. Definición del objetivo y alcances del estudio

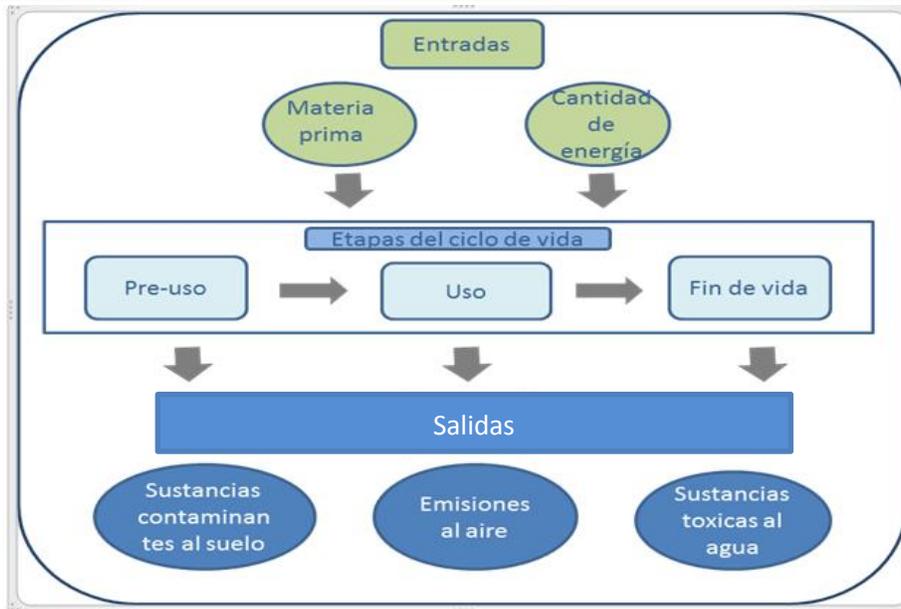
Establecer claramente el objetivo del estudio y elegir las herramientas que se utilizarán para el desarrollo del análisis de ciclo de vida. Establecer la unidad funcional y definir la metodología con la que se trabajará además de obtener la información necesaria para iniciar el estudio.

2. Realización del inventario

Recopilar la información sobre entradas y salidas, procesos y consumos que existen en el ciclo de vida del caso.

- Inventario del análisis de ciclo de vida basado en la metodología de entradas y salidas de procesos.

Se consideran todas las entradas (la materia prima implicada y la energía utilizada) que intervienen y las salidas que se producen en el proceso (Fig. 1.2).



**Figura 1.2:** Inventario basado en entradas y salidas de procesos.  
 Fuente: Elaboración propia.

### 3. Análisis y evaluación de los impactos ambientales

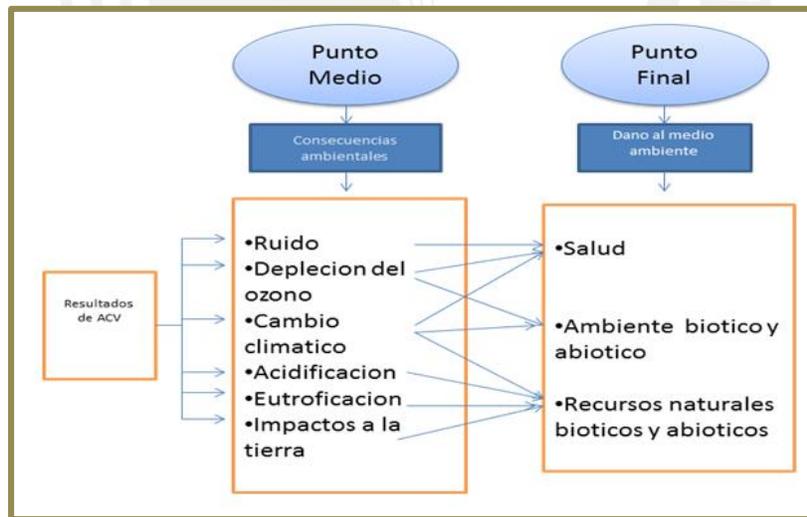
La etapa de análisis en un estudio de ciclo de vida tiene cuatro sub-etapas:

- Clasificación: Designar los items del inventario considerando los niveles de impacto.
- Caracterización: Cuantificar los niveles de impacto para cada categoría.
- Normalización: Presentar el nivel relativo de impacto realizando una comparación con el conjunto de resultados por indicador.
- Ponderación: Definir un peso para cada impacto teniendo en cuenta el grado de importancia de uno respecto a otro.

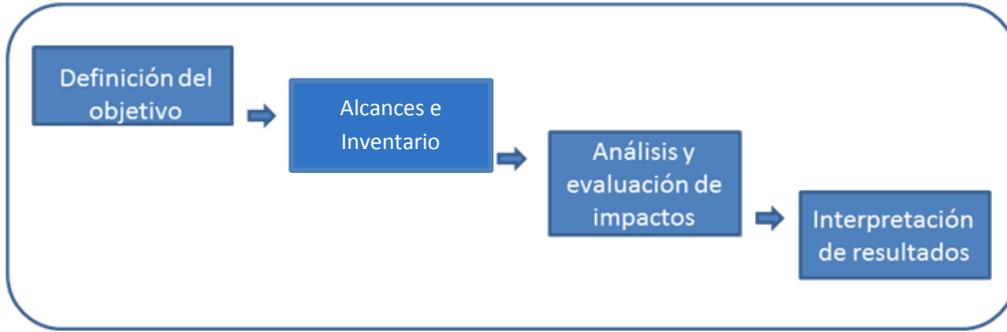
- Interpretación de resultados: Etapa final donde se busca interpretar los resultados obtenidos y se establecen las conclusiones del estudio.

Existe lo que se conoce como el punto medio y el punto final del análisis realizado. Los resultados obtenidos se representan como consecuencias ambientales considerando los cambios que el ambiente sufrirá producto de lo obtenido en el ciclo de vida, esto es conocido como el punto medio. Finalmente, luego de tener los resultados del punto medio, se procede a vincular las consecuencias ambientales producto de cada impacto con los daños ocasionados directamente al ambiente y al ser humano. A este punto se le conoce como punto final.

A continuación, se muestra un cuadro donde se observa el concepto de Punto Medio y Punto Final del análisis.



**Figura 1.3** Esquema sobre punto medio y punto final del análisis.  
Fuente: Adaptado de Jolliet et al., 2003.



**Figura 1.4** Pasos a seguir en la realización de ACV.  
Fuente: Elaboración propia.



## CAPITULO 2. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años se han realizado una serie de investigaciones utilizando como herramienta principal el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El desarrollo y aplicación de esta metodología creció con el paso del tiempo, ejecutándose desde hace varios años atrás una serie de estudios, los cuales van desde investigaciones básicas de impacto ambiental para productos específicos hasta trabajar con la herramienta de ACV utilizando programas computarizados y aplicándose bajo regímenes de leyes ambientales de acuerdo a cada país.

A continuación, en el estado del arte se mencionarán los antecedentes de la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida, considerando su evolución en el mundo y su aplicación en Latinoamérica y Perú. Además, se presentarán antecedentes sobre la aplicación de ACV en construcción.

### 2.1 HISTORIA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

#### 2.1.1 Análisis de Ciclo de vida en el mundo

Antes de mencionar los estudios sobre ACV realizados en el mundo, es necesario tener en cuenta cómo nacieron los primeros proyectos enfocados en obtener los impactos ambientales producidos en la elaboración de un producto. Uno de los primeros estudios realizados sobre impacto ambiental fue el que ejecutó Harold Smith en el año 1963, estudio que fue presentado en la Conferencia Mundial de Energía. El trabajo de Smith fue uno de los pioneros en tratar sobre consumo y generación de energía producida en la elaboración de un producto, es decir, sobre la cantidad de energía utilizada en la fabricación del mismo (Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N° 72, 2008).

Entre los años 1960 y 1970, se desarrolló una investigación con auspicio del Departamento de Energía de los Estados Unidos, el cual tenía como objetivo calcular la cantidad de energía, materiales y los niveles de impacto generados para envases de una reconocida marca de gaseosas. Todo este trabajo se realizó contando con un enfoque de ciclo de vida (Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N° 72, 2008).

Años más tarde, luego de diferentes trabajos de investigación realizados, (siendo el estudio más conocido el que se ejecutó para la Coca Cola Company) el Midwest Research Institute en Estados Unidos otorgó el nombre de Repa (Resources and Environmental Profile Analysis) a la metodología utilizada para obtener resultados cuantitativos sobre consecuencias de impacto ambiental en la elaboración de un producto.

Posteriormente, en 1973 gracias a los avances tecnológicos, se estableció en Estados Unidos el primer software enfocado en la realización de estudios sobre Análisis de Ciclo de Vida. Si bien es cierto, se observaba una mayor preocupación por temas ambientales y se creaban más herramientas para facilitar los estudios con objetivos ambientalistas, esta preocupación fue desapareciendo poco a poco en los años siguientes. La causa de esta pérdida de interés fue que ya se contaban con varios estudios sobre Repa después de la época de crisis del petróleo, lo cual implicaba tener una serie de posibles soluciones ante la problemática ambiental y ya no existía la necesidad de realizar más estudios sobre este tema. Sin embargo, esta situación cambió en 1988 con la presencia de la crisis de residuos sólidos, crisis que se originó por la problemática de no contar con un destino final para grandes cantidades de desechos. Esta crisis originó que se traiga nuevamente a la luz la importancia de realizar estudios sobre análisis de ciclo de vida (Red Peruana ciclo de vida, 2012).

El término de Análisis de Ciclo de vida o “Life Cycle Assessment” , fue un término acogido por la Setac en 1990 luego del primer taller realizado por la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Setac). En este se discutieron temas vinculados a metodologías y nuevas herramientas para obtener resultados de impacto ambiental.

En los años siguientes el número de estudios de ACV fueron en aumento, La causa de esta mayor preocupación fue la necesidad de realizar estudios sobre fuentes de energía renovables, además de que se intentaba buscar mejores herramientas y nuevas técnicas que permitirían tener una mayor eficiencia en la aplicación de ACV.

Por estos motivos, en el 2001 se creó el Centro Americano para la Evaluación de Ciclo de Vida (ACLCA) creado para una mayor difusión de temas relacionados al ACV. Un año más tarde, a partir del 2002, se fueron organizando diversos grupos que trabajaban

enfocados en la metodología del Análisis de Ciclo de Vida y además, a partir de este mismo año, se crearon nuevos softwares los cuales eran utilizados como herramientas para facilitar los estudios y análisis que se venían realizando. Algunas de las asociaciones que nacieron durante este periodo son el Indian Society for LCA, Korean Society for LCA y UNEP-SETAC LC-Initiative.

### **2.1.2 Análisis de ciclo de vida en Latinoamérica**

Los países latinoamericanos, a diferencia de Norteamérica o Europa, no tienen el mismo ritmo de desarrollo en varios aspectos. Por este motivo resulta importante saber cuál ha sido el progreso de algunos países de la región en temas de ACV.

La región latinoamericana ha tenido una lenta evolución en estos temas debido a diferentes factores, uno de ellos es el presupuesto necesario para ejecutar los estudios de ciclo de vida, específicamente para la realización de inventarios. Este es uno de los principales obstáculos para países que aún se encuentran en vías de desarrollo, debido a que hay mayor preocupación en temas con más prioridad como el índice de pobreza, temas de educación, etc. Otro factor causante de esta pausada evolución es la necesidad de contar con profesionales que sean expertos en realizar ACV y al mismo tiempo contar con una completa base de datos de ciclo de vida para cada país o región, factor indispensable para la realización de estos estudios.

Por otro lado, cabe mencionar que en la actualidad hay grupos como la Asociación de Ciclo de Vida de Latinoamérica (ACVLA), la cual se encarga de promover estudios de Análisis de Ciclo de Vida en esta parte del mundo, y como la Red Latinoamericana de Ciclo de Vida, grupo que surgió en el 2003.

### **2.1.3 Análisis de ciclo de vida en Perú**

En el país, la ley exige realizar estudios de impacto ambiental como paso previo a la realización de proyectos o actividades ambientales que se vayan a realizar.

En el artículo 75 de la Ley General del Ambiente, se menciona que es necesario tomar medidas de prevención de riesgo y protección ambiental para cada una de las etapas de

operación en la elaboración de un producto, es decir, considerándose el concepto de ciclo de vida (Ley general del ambiente, 2005).

En el Perú contamos con la Red Peruana de Ciclo Vida, la cual fue creada en el 2005 con el objetivo de contribuir al desarrollo de metodologías que se puedan aplicar en estudios ambientales, entre ellas el Análisis de Ciclo de Vida. La RPDACV (Red Peruana de Análisis de Ciclo de Vida) nació a modo de respuesta tras la iniciativa establecida por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y por la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC). La red está integrada por profesionales quienes comparten el interés común de trabajar aplicando la metodología de ciclo de vida.

La Red Peruana de Ciclo de Vida (RPCV) se especializa en el desarrollo de proyectos de análisis de ciclo de vida y trabaja en la investigación sobre temas ambientales vinculados al desarrollo sostenible. Cumpliendo con este objetivo, la red plantea iniciativas de elaboración de oportunidades de mejora, además de ofrecer la información necesaria para tomar decisiones que vayan de la mano con la reducción de impacto ambiental. Los tres principales objetivos de esta organización son el de hacer mayor difusión de la aplicación de la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el de crear intercambio de experiencias con otras redes de ACV y finalmente el de aportar la información necesaria para la creación de una base de datos de inventario para la realización de ACV en el país.

La Red peruana de ACV ha realizado una serie de investigaciones, entre ellas está el Inventario de ciclo de vida de la minería artesanal de Oro, el cual fue un trabajo que se basó en elaborar dos ICV para los departamentos de Madre de Dios y Ayacucho. El trabajo estuvo enfocado en la producción de oro en pequeña escala y en la minería artesanal. Con el estudio se buscó informar sobre lo que representan estos resultados a nivel de Sudamérica. De la misma manera, la Red realizó el Inventario de ciclo de vida de llantas, el cual fue una investigación que tenía como objetivos desarrollar el inventario para la fabricación de llantas, optimizar el proceso de fabricación realizando un balance entre las entradas y salidas, y finalmente reducir las cantidades de desechos de materiales. Además, está el Análisis de Ciclo de Vida de los biocombustibles que se ejecutó con el fin de evaluar y cuantificar los impactos ambientales que surgen por los biocombustibles hechos en el Perú. Para ello se utilizó la metodología del ACV que ayudó finalmente en tomar decisiones a nivel político del sector. Por último, el estudio de

análisis de ciclo de vida de ladrillos y bloques de concreto San Jerónimo de Cusco, tuvo como objetivo principal cuantificar y analizar las emisiones de gases efecto invernadero producidos en el ciclo de vida de los ladrillos artesanales, ladrillos mecanizados y bloques de concreto. Todos estos materiales son producidos en el mismo San Jerónimo. Para el trabajo se utilizó la base de datos EcoInvent y se ejecutó el análisis de impactos con ayuda del programa SimaPro. El trabajo concluyó que un ladrillo mecanizado tiene 36% más impacto que uno artesanal, y que un bloque de concreto supera en impacto a los otros dos tipos de ladrillos en 175% y 102% más respectivamente (Red Peruana Ciclo de Vida, 2013).

Entre sus últimas publicaciones están el ICV Llantas y el ICV minería pequeña escala-Perú (Red Peruana Ciclo de Vida, 2013). Algunas publicaciones que aún se encuentran en desarrollo son: Inventario de Ciclo de Vida de una Hidroeléctrica, Análisis de Ciclo de Vida de las Energías Renovables y Análisis de Ciclo de Vida de los Transformadores.

## **2.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA INFRAESTRUCTURAS Y CONSTRUCCIONES**

### **2.2.1 Análisis de ciclo de vida de infraestructuras**

En la actualidad se buscan objetivos económicos y técnicos, la consideración de impacto ambiental y por lo tanto el tema de sostenibilidad se vienen presentando con mayor relevancia en el diseño de carreteras y otros proyectos de infraestructura.

El estudio realizado por Zapata et al. (2005), presenta una evaluación del inventario de un pavimento continuo de hormigón armado y de un pavimento asfáltico, enfocándose en la energía que se consume en cada uno de ellos para la construcción de una carretera. En el caso del pavimento de hormigón armado, la energía es primero consumida en la etapa de manufactura del cemento y del acero reforzado, un aproximado de 94 % del total de energía, desde la extracción de materia prima hasta la misma puesta del pavimento de concreto. Para el caso de pavimento asfáltico, el mayor consumo se da en el mezclado de asfalto y la hidratación de agregados (48%). La evaluación refleja que es en la fase inicial de pre-uso, donde se tienen que hacer cambios para disminuir los niveles de consumo de energía.

Asimismo, según información brindada por *Transportation research board (2008)*, se ejecutó la primera parte de un proyecto el cual estuvo enfocado en el análisis de ciclo de vida de construcción de carreteras y terraplenes. Este se realizó como parte de un proyecto más grande, el cual trataba sobre el análisis de materiales utilizados en la construcción de terraplenes.

En esta primera etapa, fue desarrollado todo el proceso de análisis de ciclo de vida para posteriormente realizar una comparación entre las alternativas de carreteras y construcciones de tierra. Asimismo, se ejecutó una base de datos con las cargas ambientales de los materiales utilizados más significativos. Se evaluaron estudios de caso considerando el uso de la ceniza de carbón, residuos de hormigón y escoria granulada de alto horno.

Los resultados de los casos de estudio, mostraron que son en las fases de producción y de transporte de materiales para la construcción de carreteras las que generan mayor carga de impacto ambiental. La trituración, el transporte de los materiales y la producción del asfalto y el cemento son los procesos con más consumo de energía en cada etapa del ciclo de vida.

### **2.2.2 Análisis de ciclo de vida de inmuebles**

La información precedente en el caso de viviendas, abarca solo estudios realizados en países de Norteamérica o Europa debido a que no se han elaborado trabajos de investigación con el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida para viviendas en el Perú hasta la fecha.

El estudio realizado por Kahhat et al. (2009) tuvo como objetivo identificar y obtener los impactos ambientales de viviendas con diferentes sistemas de muros.

Esta evaluación de viviendas unifamiliares se realizó para el estado de Phoenix, Arizona (EUA). En el análisis se tomaron en cuenta distintos indicadores ambientales como por ejemplo, el índice de contaminación del aire, el consumo energético, potencial de calentamiento global, uso de recursos, emisión de desechos sólidos e índice de contaminación del agua.

Entre los tipos de sistemas de muros para viviendas evaluadas, se consideraron sistemas de bloques de concreto, concreto vertido en el lugar, concreto aislado y otros. En la etapa de cuantificación de resultados, se trabajó con el software ATHENA (2009), herramienta utilizada para la cuantificación del impacto ambiental durante el ciclo de vida de una vivienda. Además se hizo uso del software eQuest (2009), para la simulación energética de la fase de uso.

Los resultados del estudio arrojaron que en la etapa de pre-uso, las viviendas que contaban con un sistema de muros de concreto aislado, tuvieron un mayor impacto ambiental. Por otro lado, las viviendas con sistema de bloques de concreto, sistema de muros de concreto vertido en el lugar y aquellas de madera presentaron un menor nivel de impacto. Para el primer año de uso, el sistema de muros de madera refleja un gran consumo de energía primaria, mientras que el sistema que menor impacto presentó fue el de la vivienda con muros de concreto aislado debido a una menor cantidad de energía operacional. En la etapa de fin de vida, comparada a las etapas de pre-uso y uso, todos los sistemas de muros arrojaron resultados mínimos. Finalmente, el estudio enfatizó la importancia que tiene la masa térmica de muros exteriores en el consumo energético de una vivienda, especialmente en ciudades donde el calor tiene gran presencia como es el caso del estado de Arizona.

Entre los estudios realizados, se puede indicar además el trabajo ejecutado por Gregory A. Keoleian et al. (2000), en el cual se evaluaron la energía involucrada en el ciclo de vida, las emisiones de gas efecto invernadero y los costos para una vivienda típica de los Estados Unidos. La vivienda contaba con un área de 228 m<sup>2</sup> y el objetivo fue analizar opciones de conservación de energía en las etapas de pre-uso, uso y fin de vida de la vivienda. Como resultado final, se obtuvo un total de 306 toneladas métricas de material de construcción en la etapa de construcción y mantenimiento de la vivienda. La fase de uso significó el 91% del total de la energía consumida en todo el ciclo de vida, considerándose 50 años de vida útil para la vivienda. Por otro lado, al mismo tiempo fue modelada una vivienda que contaba con la incorporación de estrategias de eficiencia energética. En el análisis comparativo de ambos tipos de casas, los resultados revelaron una gran reducción de energía en la vivienda con incorporación de estrategias de eficiencia energética, resultado que no se dio en el caso de la vivienda típica. Esta diferencia explica la reducción cuantitativa de emisiones de gases efecto invernadero.

Como siguiente antecedente se puede mencionar el trabajo realizado por Ochoa et al. (2002), un trabajo de investigación que se ejecutó con enfoque económico.

En este estudio se estimaron las cantidades de recursos, energía, electricidad utilizada, gases efecto invernadero expulsados, desechos generados y emisiones tóxicas al aire para las etapas de pre-uso, uso y fin de vida de residencias en EE.UU en el año 1997.

Los resultados mostraron que la etapa de uso es la de mayor consumo de energía y también la de mayor liberación de gases efecto invernadero. La etapa de pre-uso, presentó cantidades importantes en emisiones de sustancias tóxicas al aire y un gran porcentaje de emisiones de desechos. En la etapa de fin de vida, los resultados fueron relativamente bajos comparados a las otras dos etapas iniciales. Se presentó también, el análisis económico donde se concluye que las construcciones de viviendas representan el 5.3% del total del producto bruto interno, el 38% de consumo eléctrico y 26% de consumo energético, considerando todas las etapas de la obra (Ochoa et al. 2002). Además, se proponen una serie de acciones con el objetivo de disminuir los impactos ambientales.

Adicionalmente, es importante mencionar el caso del estudio realizado para oficinas.

En países desarrollados consideran a las construcciones de oficinas como fuentes relevantes en el sector energético; sin embargo, pese a esto no existen un número importante de estudios realizados con resultados cuantitativos donde se analicen oficinas considerando todas sus etapas de ciclo de vida.

Es por este motivo que se realizó un estudio específicamente de oficinas nuevas en EE.UU. y Europa (2006), en el cual se involucraron las etapas de producción de materiales (pre-uso), uso y mantenimiento de las oficinas, además de tener en consideración la etapa de fin de vida. El estudio de oficinas arrojó como la etapa más importante, por la cantidad de impacto ambiental de acuerdo a los indicadores analizados, a la etapa de uso. Esta etapa reflejó gran diferencia en comparación a las demás, ya que en la fase de mantenimiento se tuvieron emisiones altas para los 50 años de vida útil. Se concluyó también, que a medida en que las oficinas sean sometidas a reconstrucción o reconfiguración, las etapas de pre-uso y fin de vida presentarán otro tipo de resultado, resultados con mayor nivel de impacto. Finalmente, mediante la cuantificación de los impactos originados, es posible identificar cuáles son los causantes de las mayores emisiones, y de esta manera se podrá plantear posibles estrategias de solución.

### CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

La siguiente tesis se realizó debido al interés por obtener los índices de impacto ambiental para cada etapa del ciclo de vida de una vivienda unifamiliar en la ciudad de Lima.

Debido a la poca preocupación que existe en el país de realizar estudios que trabajen con un enfoque ambiental, no se han ejecutado proyectos en donde se aplique la herramienta de análisis de ciclo de vida por suma de procesos para obtener impactos ambientales específicamente en viviendas. Por este motivo, son escasas las propuestas de mejora que existen con el objetivo de disminuir el impacto ambiental generado por el sector construcción.

El siguiente proyecto presenta como objetivo principal identificar y evaluar el impacto al medio ambiente provocado por la construcción de una vivienda unifamiliar en la ciudad de Lima utilizando la herramienta de análisis de ciclo de vida, resultados que se obtendrán a partir de la aplicación del software *Athena Impact Estimator for buildings* (The ATHENA Institute, 2003).

Para la realización del siguiente proyecto se siguió la siguiente secuencia:

- a) Colección de información, documentación y datos.

Búsqueda de información sobre temas vinculados a estudios de ACV aplicados en el Perú así como estudios realizados en otros países. No se encontró información sobre proyectos enfocados en Lima relacionados con viviendas, por lo que la bibliografía recopilada se basa en investigaciones realizadas en otros países. Estos últimos consideraban, en la mayoría de casos, la utilización de un programa computarizado en específico para la cuantificación de diferentes impactos ambientales como los índices de contaminación de aire y de agua, cantidad de desechos sólidos producidos, consumo de energía primaria entre otros.

- b) Elección del caso de estudio y recopilación de datos

Búsqueda de una vivienda con características específicas para ser analizada en el proyecto. Recopilación de información sobre metrados de concreto y acero, tipos de

materiales utilizados en el aspecto estructural y de acabados. Además, obtención de datos sobre consumo de electricidad así como consumo de gas natural.

c) Trabajo de aplicación del programa

El ACV del proyecto fue realizado utilizando el programa computarizado que proporciona el *Athena Built of Materials Institute* (The ATHENA Institute, 2003).

Como se conoce, existen una serie de programas que agilizan el trabajo de cálculo de resultados de impacto ambiental. Muchos de estos programas trabajan con bases de datos que varían en forma y calidad. Algunos ejemplos de estos son Acv it, SimaPro (uno de los más conocidos) y Athena.

Si bien es cierto, en este proyecto era factible utilizar el programa SimaPro, para la cuantificación de resultados se utilizó el programa computarizado que proporciona el *Athena Built of Materials Institute*, el cual resulta ser una herramienta más fácil de manejar para el caso de análisis de viviendas.

El *Athena Built of Materials Institute* es uno de los institutos más importantes a nivel mundial, el cual brinda la más detallada y completa base de datos para el análisis de materiales de construcción en América del Norte.

Athena considera para la ejecución de proyectos, su propia base de datos de inventario de materiales, además cuenta con el inventario de *U.S Lyfe cycle inventory database* (US LCI). El Instituto ha venido desarrollando una base datos sobre inventarios regionales enfocados en América del Norte, en estos se consideran en específico el ciclo de vida y están enfocados en aquellos materiales constructivos con mayor relevancia. La información que comprende redes de electricidad y datos sobre el uso de combustible térmico, se obtiene del inventario de US LCI encontrado en el *National Renewable Energy Lab* . Es importante mencionar, que US LCI brinda toda aquella información relacionada con los flujos de energía, con la producción de materiales utilizados en el aspecto estructural, así como de sistemas de revestimiento y materiales de acabado.

Por otro lado, el Instituto ofrece una serie de programas los cuales son herramientas con un mecanismo muy sencillo de manejar. Esto permite que arquitectos e ingenieros tengan accesibilidad a resultados cuantificados de impacto ambiental, considerando la herramienta de ACV. El programa presenta toda la información de inventario actualizada, además permite desarrollar el análisis de ciclo de vida para diferentes tipos de construcciones, desde viviendas unifamiliares hasta infraestructuras de gran envergadura como carreteras, dependiendo del proyecto.

Cada programa que brinda el Instituto está enfocado a diferente tipo de infraestructura. El programa que se utilizará en el siguiente proyecto es *Athena Impact Estimator for buildings*, herramienta que ofrece a ingenieros y arquitectos acceso a la realización del análisis de ciclo de vida de una vivienda sin necesitar mayor conocimiento previo sobre manejo de programas enfocados a temas ambientales.

*Athena Impact Estimator for buildings*, en específico, es el utilizado para analizar los impactos ambientales que producen diversos materiales que intervienen en la construcción de una vivienda.

Este programa puede ser usado en diferentes tipos de viviendas, nuevas, renovadas o típicas. Además, modela diferentes tipos de combinaciones estructurales o de acabados, de esta manera, permite tener muchas variantes comparativas en lo que a diseño respecta.

Las estimaciones de impacto producido se obtienen a partir del inventario de ciclo de vida. En este caso, la evaluación se considera desde el inicio hasta el fin de vida de toda la construcción. Los resultados de emisiones al ambiente se cuantifican de acuerdo a los indicadores ambientales que se consideren.

El programa requiere datos como la carga viva de la vivienda o las dimensiones de los elementos estructurales. Gracias a la puesta de toda esta información obtenida, se continúa con la cuantificación de los impactos a nivel de cada indicador ambiental.

d) Análisis cuantitativo de resultados obtenidos

Luego de ejecutar el programa, se procedió a obtener los reportes de acuerdo a cada indicador ambiental. Se documentaron todos los resultados mediante tablas y gráficos para posteriormente ser analizados realizando un estudio por indicador.

e) Análisis comparativo entre la ciudad de Lima y ciudades de otros países.

Antes de la obtención de resultados finales, fue posible predecir que existiría alguna diferencia entre los resultados obtenidos en este caso de viviendas unifamiliares en Lima y los resultados del análisis en ciudades de EE.UU. Esto debido a una serie de diferencias en la etapa de uso provocado por factores como el clima, el cual resulta relevante para el índice de consumo de energía.

Seguidamente, se desarrollará el proyecto en base a resultados obtenidos, información, ideas comparativas, gráficos y conclusiones, que permitirán cumplir con el objetivo de esta tesis y al mismo tiempo, incentivar la realización de estudios de ACV, los cuales servirán como parte de la metodología para un desarrollo sostenible a futuro en el país.

### 3.1 DEFINICIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES

Los indicadores ambientales permiten establecer la condición en la que se encuentran los recursos del medio, gracias a ello es posible tener la información necesaria para tomar decisiones que estén vinculadas con el desarrollo sostenible.

Para el siguiente proyecto se consideraron una serie de indicadores ambientales entre los cuales están la cuantificación de energía primaria, emisiones al suelo, uso de recursos, consumo de combustibles fósiles, potencial de acidificación, potencial de eutrofización, potencial de calentamiento global, efectos en la salud humana, potencial de agotamiento de ozono y finalmente potencial de formación de ozono fotoquímico (smog).

Como se mencionó, el primer indicador es la cuantificación de energía primaria. Una fuente de energía primaria es aquella disponible en la naturaleza, energía que aún no ha sido convertida ni transformada. La energía primaria es aquella contenida en los combustibles crudos por ejemplo.

En este caso, la energía primaria es aquella que incluye la energía que interviene en todo el proceso de ciclo de vida. El estimador del impacto captura el uso indirecto de la energía que interviene en los procedimientos, transporte, conversión y entrega del combustible. La energía primaria presenta resultados en mega-joules (MJ).

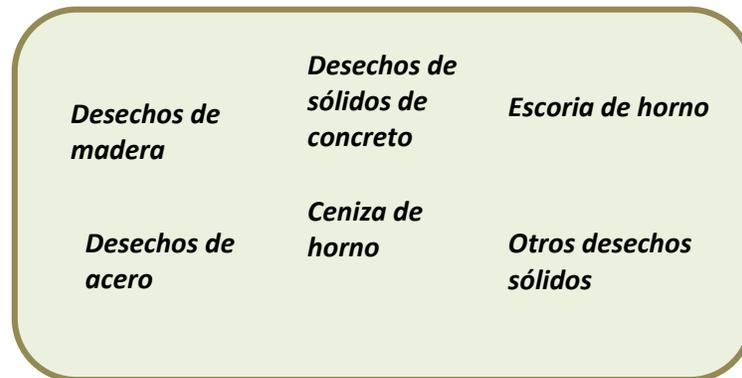
Para la energía primaria se considera lo siguiente:

- energía debido al consumo de combustibles fósiles no renovables
- energía nuclear no renovable
- energía renovable solar , viento, agua
- energía geotérmica
- biomasa renovable
- uso de fósiles como materia prima
- uso de biomasa como materia prima

**Figura 3.1** Energía considerada como energía primaria.  
Fuente: Elaboración propia.

El consumo de energía se presenta como la cuantificación de la energía consumida por fuente de energía. En el análisis de ciclo de vida se consideraron dos grupos dentro de cada etapa del ciclo de vida, estos fueron transporte y material.

La siguiente categoría, emisiones al suelo, toma en cuenta las emisiones de residuos sólidos por etapa del ciclo de vida, considerando también las dos fases de materiales y transporte. En esta categoría se consideran los siguientes tipos de desechos:



**Figura 3.2** Tipos de desechos considerados en el grupo de emisiones al suelo.  
Fuente. Elaboración propia.

La cuantificación de los recursos que intervienen en cada etapa del ciclo de vida de la vivienda, se representa por los siguientes materiales en kilogramos y litros.



**Figura 3.3** Listado de recursos que intervienen en los procesos.  
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, el indicador ambiental que se analizará es el de consumo de combustibles fósiles. Los combustibles fósiles son originados de forma natural a través de procesos biogeoquímicos bastante complejos, procedimientos que se extienden gran cantidad de años.

En el grupo de combustibles fósiles se consideran como materia prima restos vegetales y comunidades de plancton. Algunos de los combustibles fósiles más conocidos son el carbón, el petróleo y el gas natural. Actualmente, la energía que utilizamos a diario es proveniente de esta fuente de energía, y en nuestro país desde el año 2010 se registra

un aumento en el porcentaje del consumo de energía proveniente de combustibles fósiles. (Grupo del Banco Mundial, 2013).

El análisis sobre el consumo de combustibles fósiles recae en el uso de esta fuente para la generación de la energía que interviene en todo el ciclo de vida de la vivienda.

Por otro lado, el siguiente indicador ambiental es el de potencial de acidificación marina el cual refiere a las consecuencias ambientales que sufren los océanos tras la presencia de cambios climáticos.

En principio, el fenómeno de efecto invernadero provoca diversas alteraciones en los océanos, entre ellas está la variación en los niveles de acidificación. Efectivamente, los océanos ejercen una gran labor al absorber grandes cantidades de dióxido de carbono que son emitidas a la atmosfera pero lamentablemente, esta absorción origina otros problemas que implican ciertos impactos negativos para el ecosistema marino. Cuando el CO<sub>2</sub> se disuelve en el agua de mar, la mayor parte de él se convierte en ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), posteriormente este se ioniza en hidrógeno y bicarbonato. De la misma manera, estos iones de bicarbonato se vuelven a ionizar y todas estas reacciones, en las cuales son liberados iones de hidrogeno, acidifican el agua y finalmente el descenso del pH termina siendo la causa de alteraciones en el sistema marino.

Asimismo, existe un siguiente indicador ambiental el cual indica el grado de eutrofización, en este caso recibe el nombre de potencial de Eutrofización.

La eutrofización es una forma de contaminación que sufren las aguas debido a una cuantiosa contribución de nutrientes. Los dos elementos con más relevancia, causantes de esta problemática, son el fósforo y el nitrógeno.

El siguiente indicador es el potencial de calentamiento global, este indicador resulta ser el factor que posibilita realizar una comparación del impacto de los gases de efecto invernadero sobre el calentamiento global y del impacto de CO<sub>2</sub>.

El tema de calentamiento global es una problemática actual que radica en el aumento de la temperatura promedio global y es la causa de los varios cambios climáticos que sufre el planeta. Por ejemplo, producto del cambio climático se sabe que el derretimiento de los glaciares, en los siguientes 20 o 30 años, afectará directamente en el suministro del agua. Además, inundaciones en ciertas regiones se presentarán a causa del incremento del nivel del mar (BBC mundo, 2013). Hay una serie de gases de invernadero los cuales son

responsables de esta problemática, la mayoría de ellos son emitidos por nosotros mismos de diferentes maneras. El gas con mayor relevancia y el cual es responsable de gran parte del calentamiento global, es el dióxido de carbono ( CO<sub>2</sub>) (Masters, Gilbert M., Wendell P.Ela, 2008).

Existe una metodología sobre el cálculo del potencial de calentamiento global, la cual permite expresar este valor en cantidades de kilogramos o toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Tabla 3.1** Valores equivalentes de CO<sub>2</sub> para gases emitidos.

Sustancia	CO <sub>2</sub> -equiv.
Dioxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	23
Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	300

Para la cuantificación de resultados relacionados a esta categoría se hace uso de la siguiente formula equivalente de CO<sub>2</sub>:

$$\text{CO}_2 \text{ Equivalent kg} = \text{CO}_2 \text{ kg} + (\text{CH}_4 \text{ kg} \times 23) + (\text{N}_2\text{O kg} \times 300)$$

**Figura 3.5** Fórmula de conversión equivalente de CO<sub>2</sub>.

Como el estimador de impacto trabaja con una cantidad de datos que han sido desarrollados con el enfoque del ciclo de vida, los procesos que consideran emisiones de gases efecto invernadero se incluyen en los resultados del potencial de calentamiento global.

Seguidamente, acerca del indicador de efectos en la salud humana, se debe mencionar que hay partículas las cuales son denominadas partículas en suspensión. En este grupo se encuentran las partículas consideradas más pequeñas y finas que tienen una

dimensión de 2.5  $\mu\text{m}$ . (PM<sub>2,5</sub>) y las partículas que tienen una dimensión que se encuentra en el rango de 2.5  $\mu\text{m}$ . a 10  $\mu\text{m}$ . (PM<sub>10</sub>).

Las partículas antes mencionadas son aquellas que producen un impacto en la salud del ser humano, provocando el empeoramiento de enfermedades respiratorias y perjuicios en el tejido pulmonar.

Cabe resaltar que el programa utilizado trabaja con un factor de caracterización denominado TRACI's "Human Health Particulates from Mobile Sources" (The ATHENA Institute, 2003), con una base PM<sub>10</sub> equivalente, para los resultados de impacto.

Por otro lado, está el indicador de potencial de agotamiento de ozono. En este caso, el problema que experimenta la capa protectora de ozono estratosférico está vinculado directamente con la problemática de efecto invernadero.

El ozono se acumula en la atmósfera en grandes cantidades, se convierte en un escudo que nos protege de la radiación ultravioleta la cual proviene del sol y de esta manera hace posible la vida en la Tierra. Sin embargo, el ozono está viéndose perjudicado por los diferentes gases que son expulsados, y principalmente se ve afectado por el uso de ciertos productos que contienen clorofluorocarburos (CFC). Los clorofluorocarburos constituyen el primer causante del deterioro del ozono debido a que tienen una larga permanencia en la atmósfera y no se eliminan en la tropósfera. Es por ello que son expuestos a la radiación ultravioleta en la estratosfera y es aquí donde se libera el cloro. Cada sustancia que contribuye con el agotamiento de ozono se caracteriza con el indicador final de impacto ambiental de masa en kg, equivalente a CFC-11 (Masters, Gilbert M., Wendell P. Ela, 2008).

Por último, está el indicador correspondiente al potencial de formación de ozono fotoquímico (smog). En el momento donde los Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los compuestos orgánicos volátiles y la luz del sol se juntan, se originan una serie de reacciones que son la causa de la generación de diversos contaminantes secundarios llamados oxidantes fotoquímicos. El más conocido y con mayor presencia es el ozono (O<sub>3</sub>) el cual es causante de las características que presenta la llamada niebla fotoquímica o smog. Una de las principales causas por la que se origina este fenómeno es por las emisiones provocadas por industrias o medios de transporte.

Los resultados del indicador de "smog" son expresados en masa de base O<sub>3</sub> equivalente. (Masters, Gilbert M., Wendell P. Ela, 2008).

El programa de Athena, está personalizado según cada región; es decir, se adecua a las características de cada zona considerando factores como formas de transporte y distancias o red eléctrica. Además, la tecnología que refiere a la etapa de manufactura de materiales, es tecnología aplicada de acuerdo al lugar de construcción de la vivienda.

Al mismo tiempo, entradas como el tiempo de servicio de la vivienda o tipo de edificación, resultan ser factores influyentes en los resultados finales. De la misma forma, el programa compara la energía operativa y la energía incorporada durante el ciclo de la vivienda, de esta manera le brinda al usuario la capacidad de entender mejor acerca de los cambios que se producen al aplicar reducciones en la parte de uso de energía para el funcionamiento.

El estimador considera el impacto ambiental para las siguientes etapas en el ciclo de vida de una vivienda: manufactura de materiales, el cual incluye extracción de materia prima, material reciclado y transporte; construcción (pre-uso), mantenimiento y energía operativa (uso) y finalmente demolición y eliminación de materiales (fin de vida). No se incluye como etapa en el ciclo de vida la descomposición de materiales arrojados a los vertederos.

## CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO

### 4.1 OBJETIVO Y ALCANCES

El presente Análisis de Ciclo de Vida se realizó para el caso de una vivienda unifamiliar en la ciudad de Lima. El sistema de vivienda es una construcción que tiene como principal objetivo brindar refugio a las personas y evitar que sean afectados por rigores del clima u otro tipo de amenazas.

La unidad funcional es una medida que permite la comparación entre cantidades de recursos necesarios para efectuar una misma labor, permitiendo tener una referencia para que las entradas y salidas sean estandarizadas. En este proyecto, la unidad funcional es la vivienda construida, vivienda con características particulares que serán especificadas en el transcurso del siguiente capítulo.

Los límites del sistema definen aquellos procesos unitarios que se incluyen en el sistema que será evaluado (Red Peruana Ciclo de Vida, 2013). Además los límites de sistemas consideran las fases de procedimientos unitarios y el nivel de detalle que se incluyen en el análisis. Este estudio se realizó tomando en cuenta los impactos ambientales de todo el ciclo de vida de la vivienda, considerándose una vida útil de 50 años, en la cual se incluyen las etapas de pre-uso (manufactura y construcción), uso (operación y mantenimiento de la vivienda) y fin de vida.

Para el sistema evaluado, no se consideraron la fabricación de maquinarias ni la producción de camiones utilizados para la construcción, y tampoco los implementos de seguridad usados en obra como cascos, arneses o andamios. Asimismo, no se tomaron en cuenta las vías exteriores como veredas y áreas verdes o jardines (ubicados en la calle).

Se han tomado en cuenta para el proyecto, los límites geográficos y límites temporales. El Análisis de Ciclo de Vida realizado abarca solamente casos de viviendas en la ciudad de Lima, específicamente viviendas de nivel socioeconómico A. En el proceso de búsqueda de información, se obtuvieron datos reales que provenían de instituciones como Luz del Sur, para la información del consumo de electricidad anual y Cálidda para el caso del consumo de gas natural. El horizonte temporal para el estudio comprendió el periodo desde el 2009 (datos de matriz energética peruana) hasta el año 2013.

Asimismo existieron limitaciones, el uso del programa computarizado elegido obligaba a trabajar con una matriz energética de Norteamérica debido a que este no tenía entre sus opciones de uso la matriz energética del Perú. Adicionalmente, el inventario con el que se trabajaba contenía una base de datos con información proveniente de Estados Unidos.

## 4.2 ETAPAS DEL CICLO DE VIDA

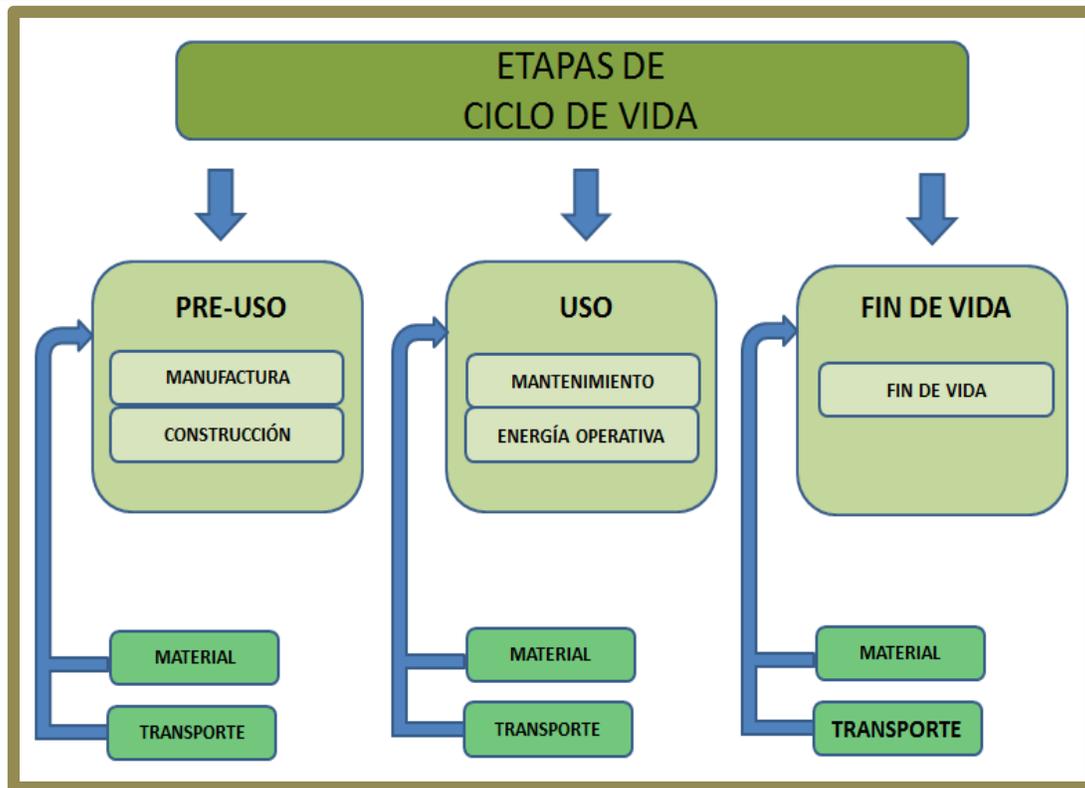
Las etapas del ACV fueron agregadas en las siguientes etapas fundamentales: pre-uso, uso y fin de vida.

La etapa de pre-uso considera las etapas de manufactura y construcción. La etapa de manufactura incluye la extracción de recursos, transporte, manufactura y construcción de los materiales, productos o compuestos de construcción utilizados. En tanto, en la etapa de construcción de la vivienda, se consideran los componentes de los materiales que se utilizaron para la ejecución de la obra, además del factor transporte.

Seguidamente, la etapa de uso incluye las etapas de mantenimiento y de energía operativa. En la etapa de mantenimiento se manifiestan las actividades relacionadas al mantenimiento y reconstrucción de la vivienda, los cuales se generan en el sistema estructural y están relacionados a la utilización de acabados. Por otro lado, en la etapa de energía operativa se considera toda la energía necesaria para el funcionamiento de la vivienda en su etapa de uso.

Por último, la tercera y última etapa es la de fin de vida. Es aquí donde se analiza el impacto ambiental generado en la demolición de la vivienda, así como la disposición final de los materiales o desechos generados (Fig. 4.1).

Cada una de las etapas del ciclo de vida de la vivienda toma en cuenta los siguientes dos grupos para el análisis: materiales y transporte. En el primer grupo, se consideran todos los impactos debido a la producción de materiales o al uso de los mismos, mientras que en transporte se toman en cuenta los efectos relacionados con la movilización de productos en cada etapa de pre-uso, uso o fin de vida.



**Figura 4.1** Esquema sobre las etapas del ciclo de vida de una vivienda.  
Elaboración propia.

### 4.3 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

Para la ejecución del siguiente proyecto, se buscó un prototipo de vivienda que cumpla con las características de una vivienda unifamiliar de nivel socioeconómico A en el diseño estructural, así como en el aspecto de acabados. Es por este motivo que se tomó como caso de estudio una vivienda ya existente diseñada para una familia con un área construida de 478 m<sup>2</sup> (Figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5).

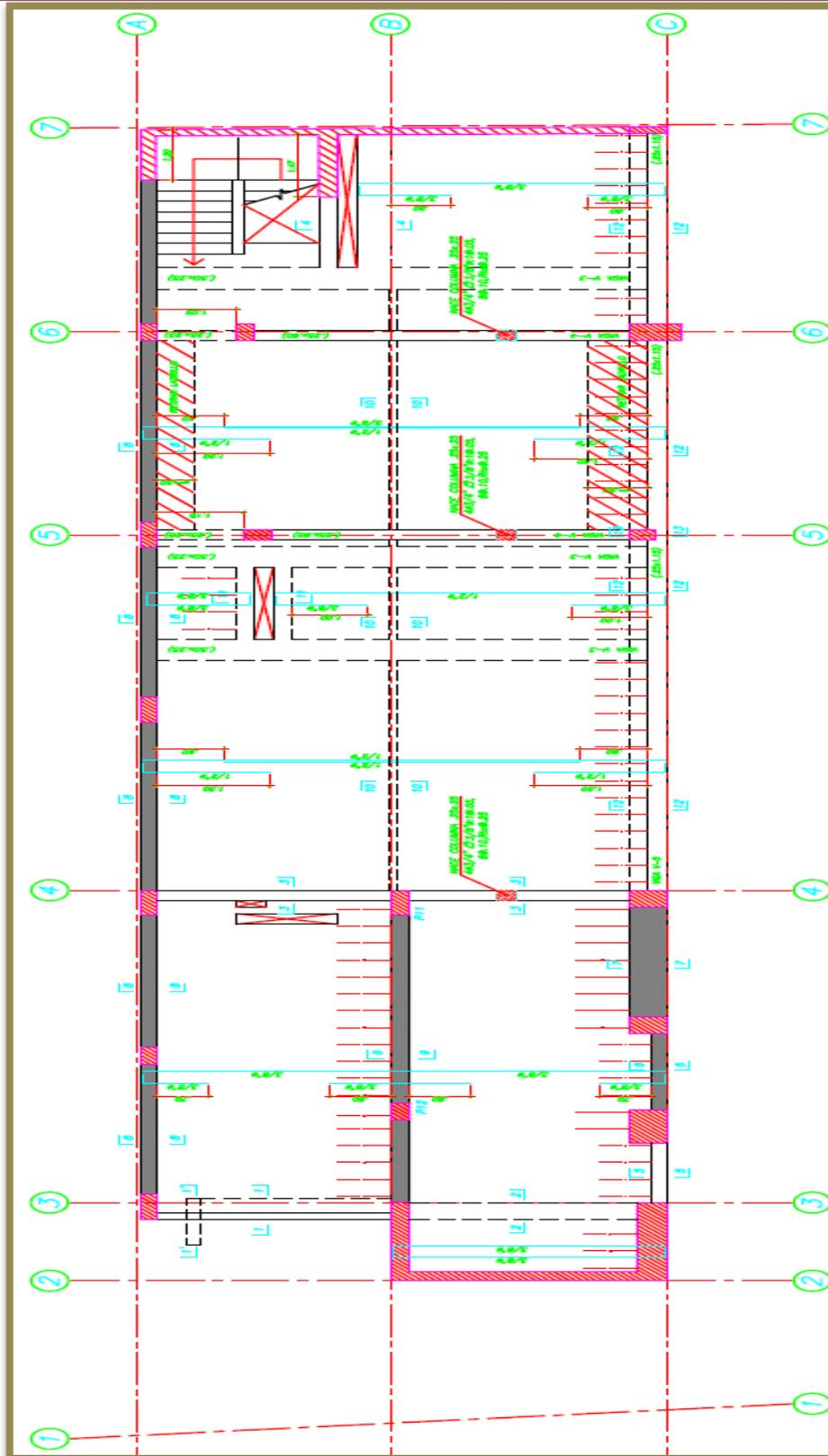


Figura 4.2 Plano de estructuras. Primera planta

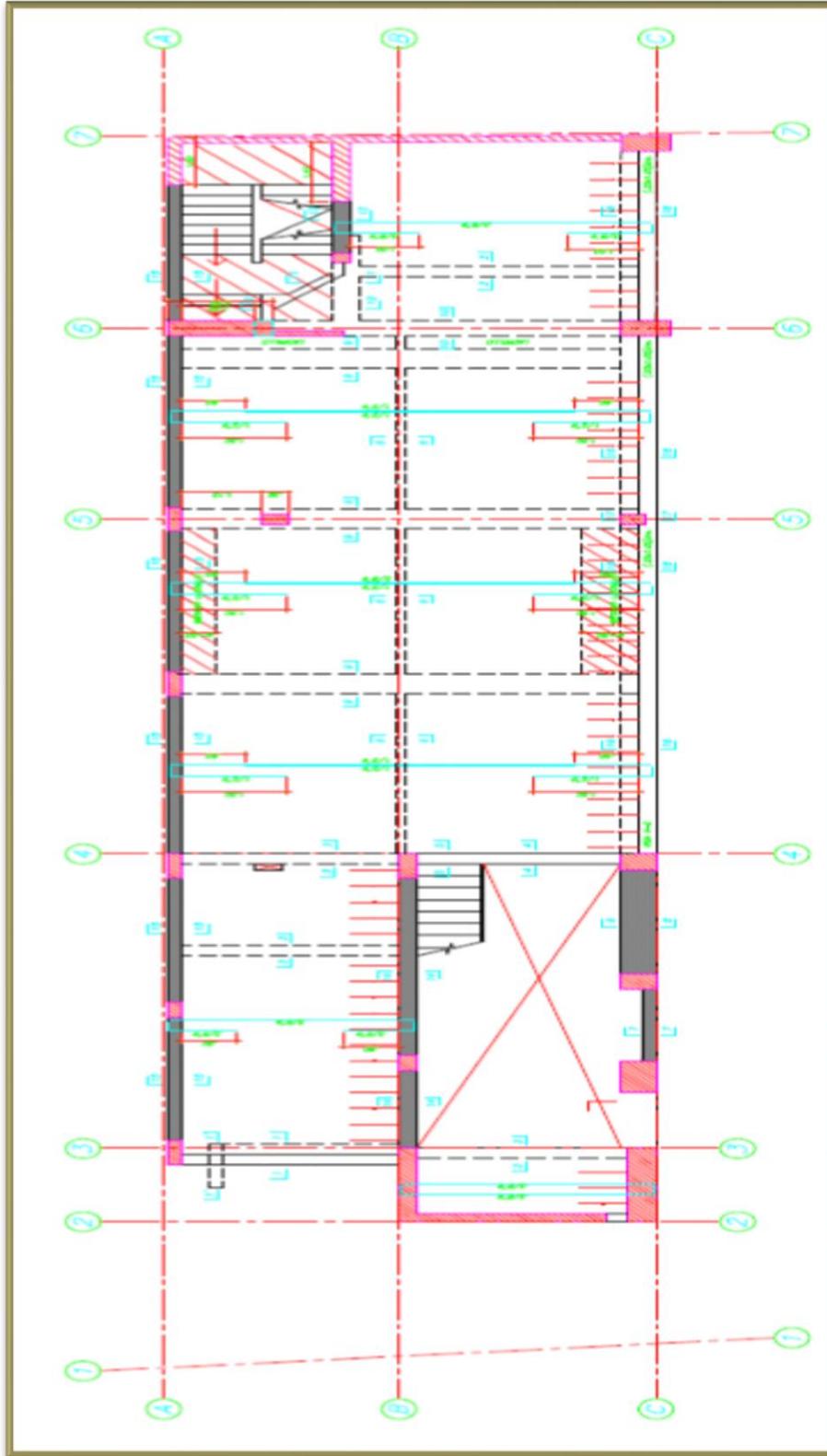


Figura 4.3 Plano de estructuras.Segunda planta

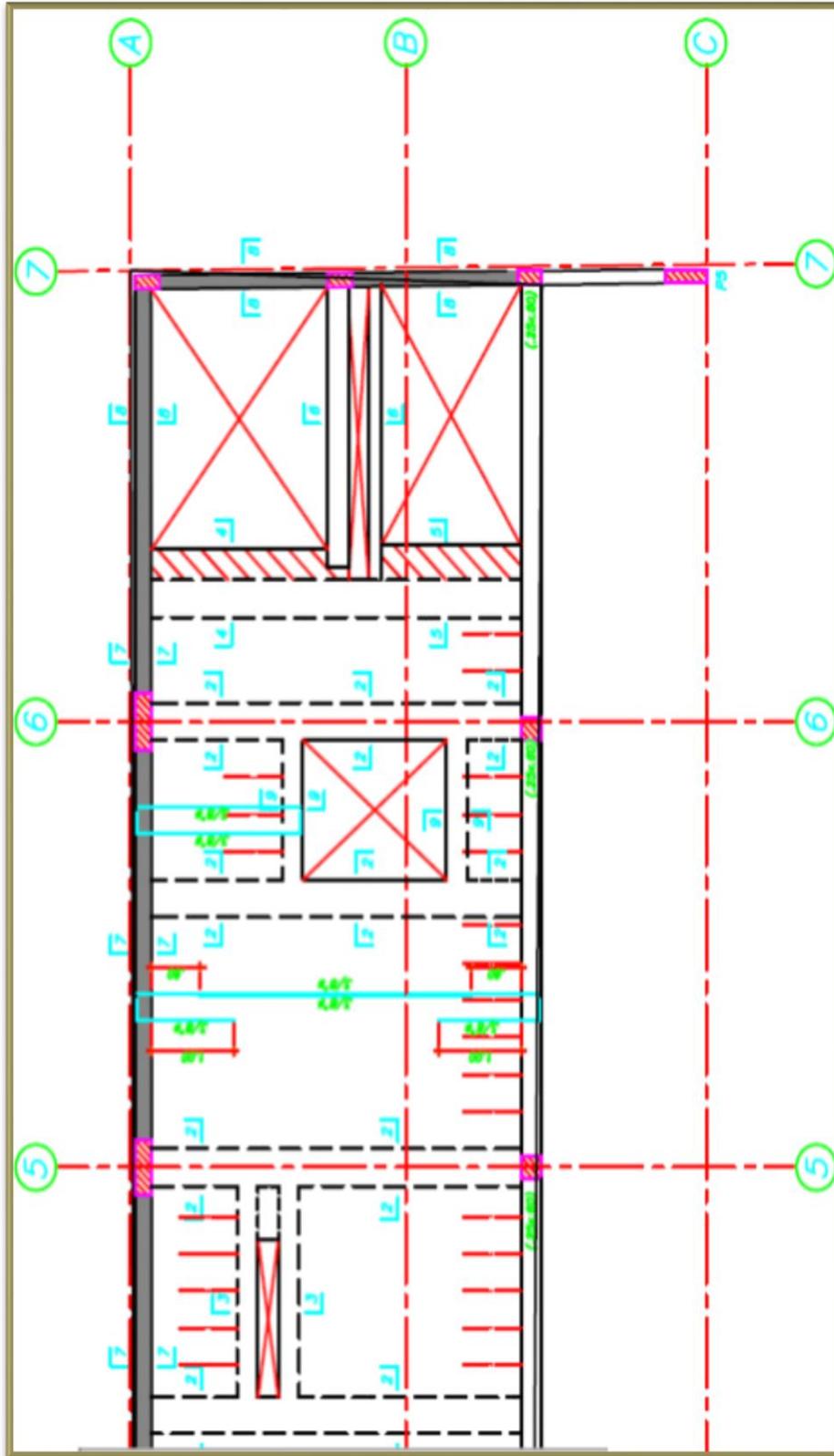


Figura 4.4 Plano de estructuras.Tercera planta



La vivienda está localizada en el distrito de San Isidro, ciudad de Lima. Las construcciones colindantes son tres viviendas típicas que no tienen largo tiempo de haber sido construidas y la expectativa de vida útil es de aproximadamente 50 años para la vivienda en estudio.

La vivienda se ha trabajado a partir de planos y se desarrolló en los siguientes niveles: primera, segunda y tercera planta.

La primera planta cuenta con el salón de recibo, baño de visita, sala-comedor cocina y terraza. Asimismo, la segunda planta tiene tres dormitorios y dos baños. Finalmente la tercera planta cuenta con un dormitorio, zona de lavandería y el baño. Por otro lado, las zonas exteriores considera el patio, el jardín y acera de entrada.

La descripción constructiva detalla que la primera etapa de la obra fue la de movimiento de tierras, en la cual se requirió una excavación de tierras no tan profunda debido a las dimensiones que se exigían en los planos. La excavación tuvo una altura un poco mayor a la altura del cimiento corrido la cual fue de 60 cm. En seguida, se continuó con la etapa de cimentación, donde el concreto utilizado fue concreto con resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. De acuerdo con el diseño estructural, la vivienda en los tres pisos cuenta con muros y placas de concreto armado. Además, el techo es de losa aligerada en los tres pisos, las columnas son de 0.20x0.25 m. y las vigas tienen dimensiones de 0.60x0.30m. El concreto utilizado en los elementos estructurales fue de resistencia de 200 kg/cm<sup>2</sup>. Se consideró un recubrimiento en los muros de toda la vivienda de 5cm. de espesor.

En la fachada se muestran muros de concreto que se encuentran tarrajeados y pintados con pintura látex. En los acabados interiores figuran las puertas de madera ubicadas en todos los ambientes y vidrio común con marco de aluminio en todas las ventanas. Así también, se utilizó pintura látex para el acabado de todos los cuartos y piso de cerámico en los interiores y exteriores.

Se consideraron instalaciones sanitarias y eléctricas típicas para una vivienda unifamiliar en Lima. Se presenta un sistema de gasfitería común, gas natural, telecomunicaciones y electricidad. El consumo de electricidad anual por vivienda es de 4800 Kwh. y la cantidad de gas natural utilizado es de 216 m<sup>3</sup> por año (Calidda; Luz del Sur, 2013).

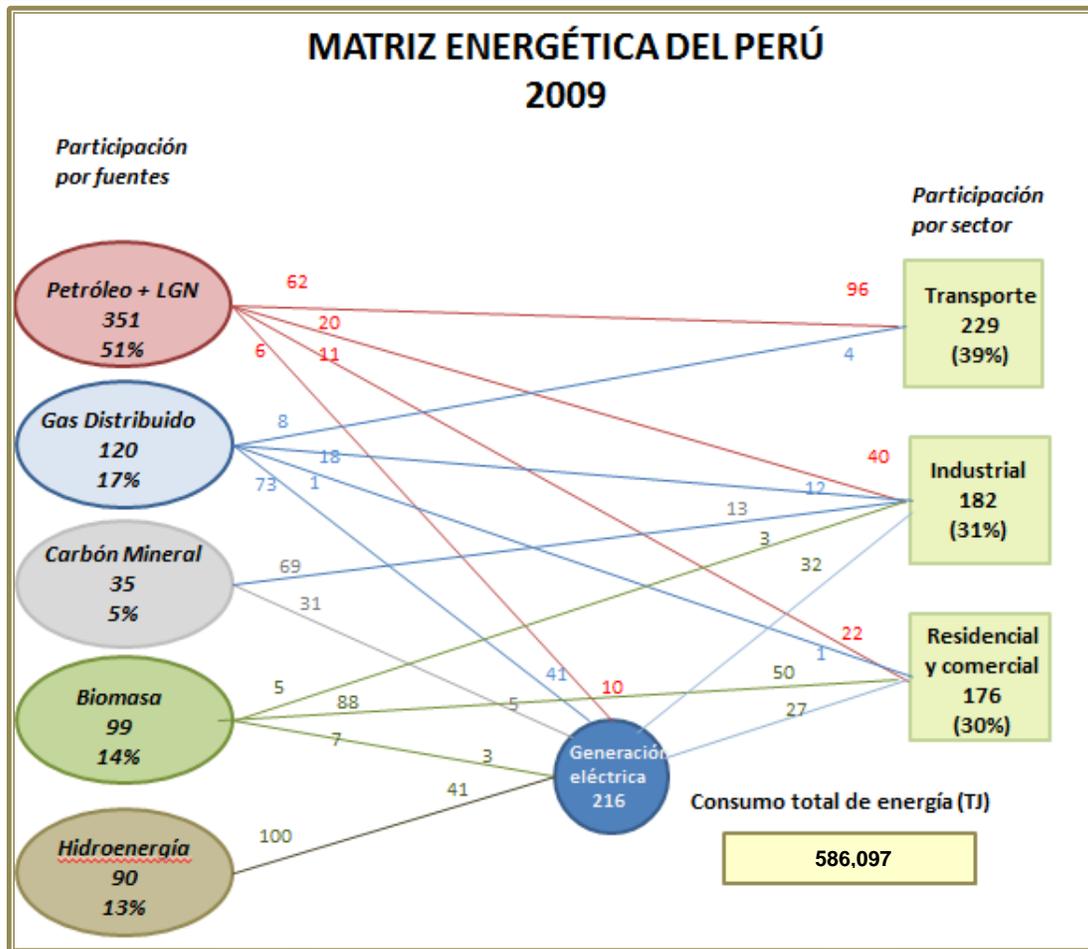
Por último, la duración de la obra fue de un periodo de 10 meses.

#### 4.4 ANÁLISIS DE LA MATRIZ ENERGÉTICA PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

La matriz energética representa de manera cuantitativa, la energía de la cual dispone un determinado país o región, energía que es usada en los procesos productivos desarrollados en el lugar. La matriz permite identificar cual es la importancia y participación de cada fuente de energía para luego analizar si son utilizadas de manera óptima. Realizar un análisis detallado de la matriz energética por país es de gran relevancia ya que permite hacer una planificación más precisa de todo aquello vinculado con el sector energético, lo que posteriormente permitirá garantizar el buen uso de la energía asegurando su producción y disponibilidad.

El programa utilizado para el análisis, exigía trabajar con la matriz energética de un estado norteamericano, lo cual originó que se realizara un análisis previo por estado y que finalmente se eligiera aquella matriz con mayor semejanza a la matriz peruana. Los estados propuestos por el programa fueron Georgia, California, Minnesota, Florida, Washington (Estados Unidos) ; Alberta, Quebec, Ottawa, Ontario Vancouver (Canadá). En este proyecto se consideró necesario realizar un análisis comparativo entre la matriz energética peruana y la matriz energética de algunos estados de Canadá y Estados Unidos.

A continuación, se presenta el cuadro de la matriz energética del Perú para el año 2009 (Fig. 4.6).



**Figura 4.6** Matriz Energética del Perú 2009

Fuente: Adaptado de Ministerio de Energía y Minas (Ministerio de Energía y Minas, 2009).

**Tabla 4.2** Porcentaje de participación por fuente de energía en el Perú para la generación de electricidad.

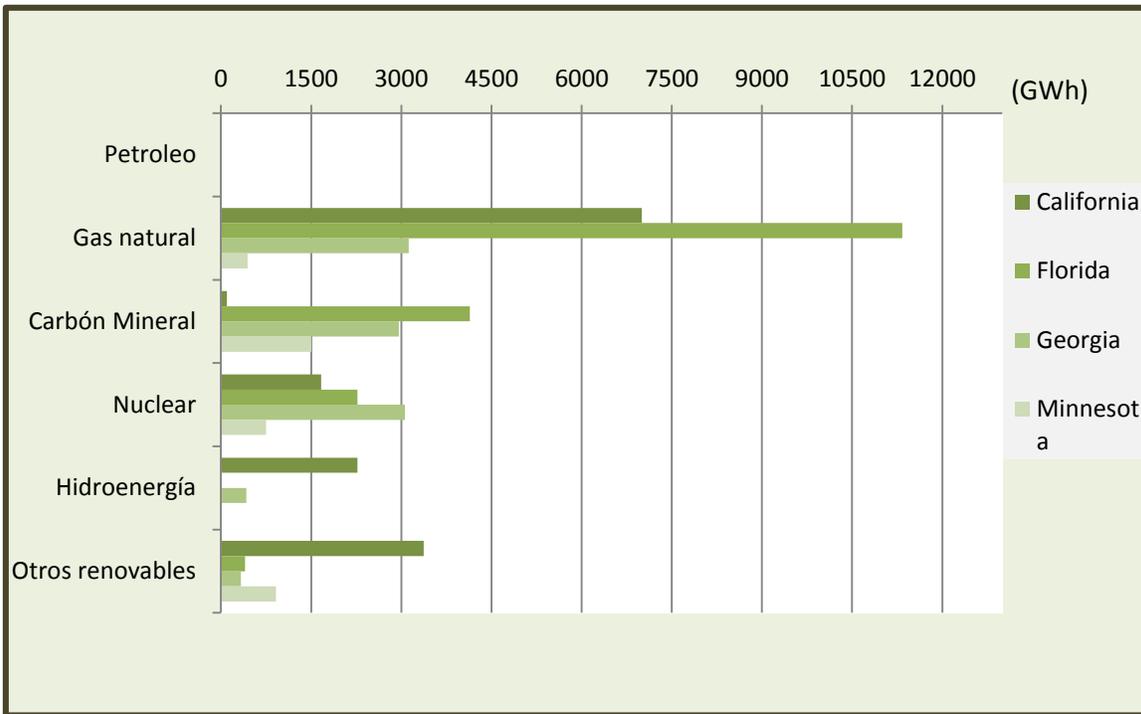
Fuente Energética	Participación en Generación Eléctrica
PETRÓLEO + LGN	10%
GAS NATURAL	41%
CARBÓN MINERAL	5%
BIOMASA	3%
HIDROENERGÍA	41%

Como se observa en la Figura 4.6, el Perú tiene como principales fuentes de energía primaria a la hidroenergía y a la fuente de gas natural. Ambos tienen una presencia de 41% cada una con respecto al total de generación eléctrica, dejando al petróleo en segundo lugar y a las fuentes de carbón natural y biomasa en último lugar con una participación de 5% y 3% respectivamente.

Para la elección de la matriz energética, fue necesario realizar la búsqueda de las matrices de los estados indicados anteriormente.

Luego de ubicar la matriz energética de cada estado mencionado, se observó que en el caso de los estados canadienses la fuente energética con mayor relevancia es la nuclear y por lo contrario, la presencia de gas natural como fuente es mínima o casi nula. Asimismo, en el caso de Estados Unidos, los cuatro estados que presentan una matriz energética con similitudes a la matriz peruana son los estados de California, Florida, Minnesota y Georgia. Es por este motivo que el análisis de matrices se resumió solo al análisis de estos cuatro estados mencionados.

A continuación se muestran los gráficos y tablas utilizados en el análisis de matrices energéticas para los estados de California, Florida, Minnesota y Georgia.



**Figura 4.7** Cuadro de matrices energéticas para los estados de California, Florida, Georgia y Minnesota.

Fuente: Adaptado de U.S. Energy Information Administration (EIA, 2013).

**Tabla 4.3** Porcentaje de participación por fuente de energía en el Estado de Minnesota

Fuente energética	Participación en generación eléctrica por Estado			
	California	Florida	Georgia	Minnesota
<b>PETRÓLEO</b>	0%	0%	0%	0%
<b>GAS NATURAL</b>	64%	68%	11%	9%
<b>CARBÓN NATURAL</b>	1%	19%	42%	46%
<b>NUCLEAR</b>	6%	18%	37%	26%
<b>HIDROENERGÍA</b>	11%	0%	5%	0%
<b>OTROS RENOVABLES</b>	18%	8%	5%	18%

A pesar de que las cantidades porcentuales de participación por fuente de energía para estado de California no son iguales a las cantidades porcentuales por fuente de energía

del Perú, este es el estado con la matriz energética con mayor semejanza a la de nuestro país.

La figura 4.7 muestra los porcentajes de participación de cada una de las fuentes en la generación eléctrica para los estados mencionados. En el caso de California, el gas natural se presenta como la principal fuente de energía con una participación de 64%. Comparando este valor con el porcentaje de participación del gas natural en Perú, se pueden considerar ambos valores cercanos. Al mismo tiempo, otro indicador de semejanza es el carbón, el cual, en ambos casos se presenta como una fuente con un porcentaje mínimo.

Las diferencias entre la matriz elegida y la matriz del Perú recaen en que en nuestro país no se utiliza la energía nuclear como una fuente de energía y en cambio sí hay una participación del petróleo como fuente. Caso contrario es lo que sucede con la matriz de California, en la cual se observa un porcentaje regular de energía nuclear y una participación nula del petróleo como fuente.

La Hidroenergía es la principal fuente de energía para el caso del Perú, es un tipo de energía renovable que presenta características de conservación. No presenta producción de gases de efecto invernadero ni otro tipo de emisiones, opuesto a lo que sucede con los combustibles fósiles.

Sin embargo, la relevancia de la hidroenergía como fuente no se refleja en los estados americanos analizados. Los cuadros anteriores muestran que California y Florida son los dos estados con mayor participación de energía renovable, presentando un porcentaje de 29% y 26% respectivamente, sin llegar a superar al porcentaje de participación de gas natural. Cabe resaltar que para el caso de Georgia y Minnesota, la fuente de energía más importante es el carbón mineral y en ambos estados existe un porcentaje bajos con respecto a la fuente de energía renovable.

## CAPITULO 5 RESULTADOS

### 5.1 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

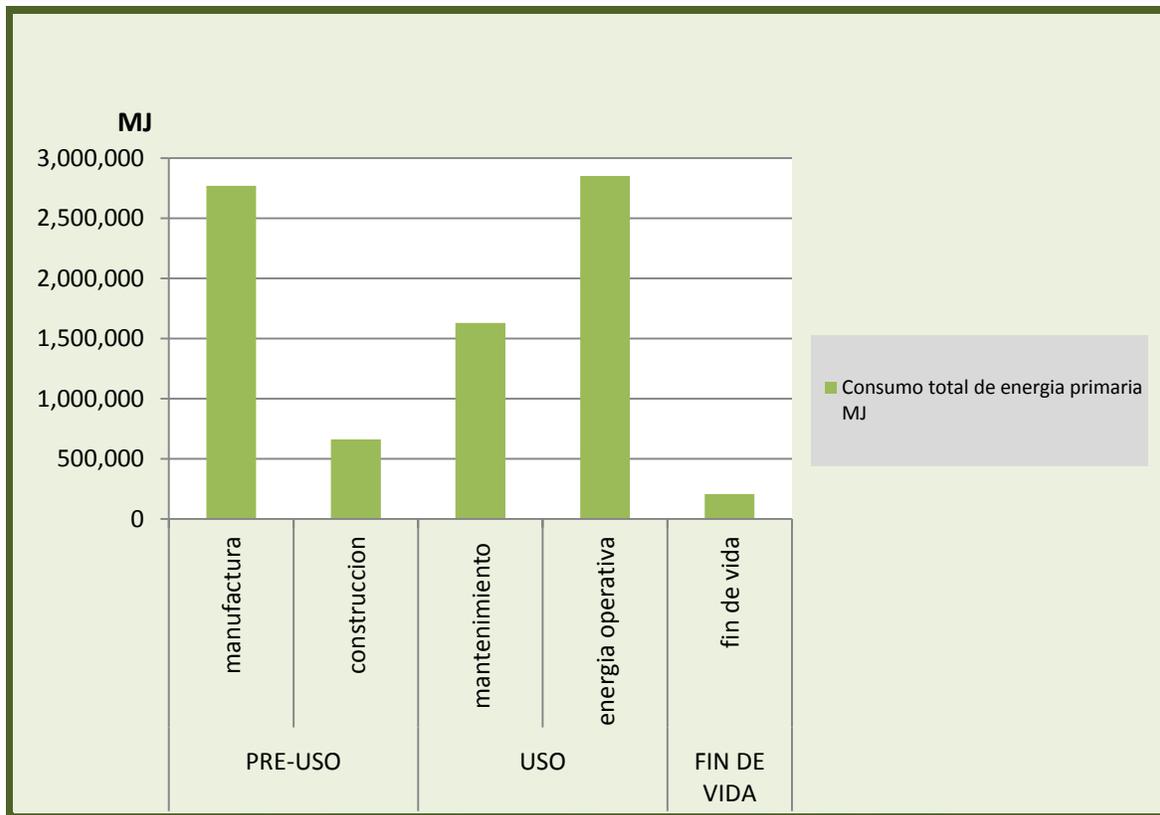
La Evaluación de Impacto Ambiental es un procedimiento realizado con el objetivo de identificar y luego interpretar los niveles de impacto ambiental que se produjeron en el caso de la vivienda considerando todo su ciclo de vida. Esta evaluación debe buscar que los resultados obtenidos se conozcan previo a las nuevas construcciones de este tipo, así se podrá contar con un planeamiento específico que sirva como respuesta a los problemas ambientales.

Las tablas a continuación, contienen la cuantificación de los niveles de impacto en las etapas de pre-uso, uso (considerando 50 años de vida útil de la vivienda) y etapa de fin de vida para cada indicador. Al mismo tiempo los cuadros muestran gráficamente las diferencias cuantitativas entre etapas.

Los indicadores ambientales analizados son: consumo de energía primaria, emisiones o desechos al suelo, uso de recursos, consumo de combustibles fósiles, potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, criterios de salud humana, potencial de eutrofización y potencial de formación de smog.

**Tabla 5.1** Tabla de consumo de energía primaria.

Etapa del ciclo de vida	PRE-USO		USO		FIN DE VIDA	TOTAL
	manufactura	construcción	mantenimiento	energía operativa	fin de vida	
Consumo total de energía primaria MJ	2,770,000	662,000	1,630,000	2,850,000	208,000	8,120,000



**Figura 5.1** Consumo de energía primaria en las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

En la figura 5.1. se observa el consumo de energía primaria durante las tres etapas analizadas del ciclo de vida de la vivienda. El total de energía primaria consumida durante el ciclo de vida fue de 8,120,000MJ. La etapa más significativa es la etapa de uso, en la cual se consume un 55% del total de energía. Estos resultados revelan principalmente el gran gasto de energía a causa del mantenimiento, remodelación de la vivienda y uso directo de artefactos; así también reflejan el alto porcentaje de consumo de energía operativa o de funcionamiento que significa un 35% del total de 8,120,000MJ.

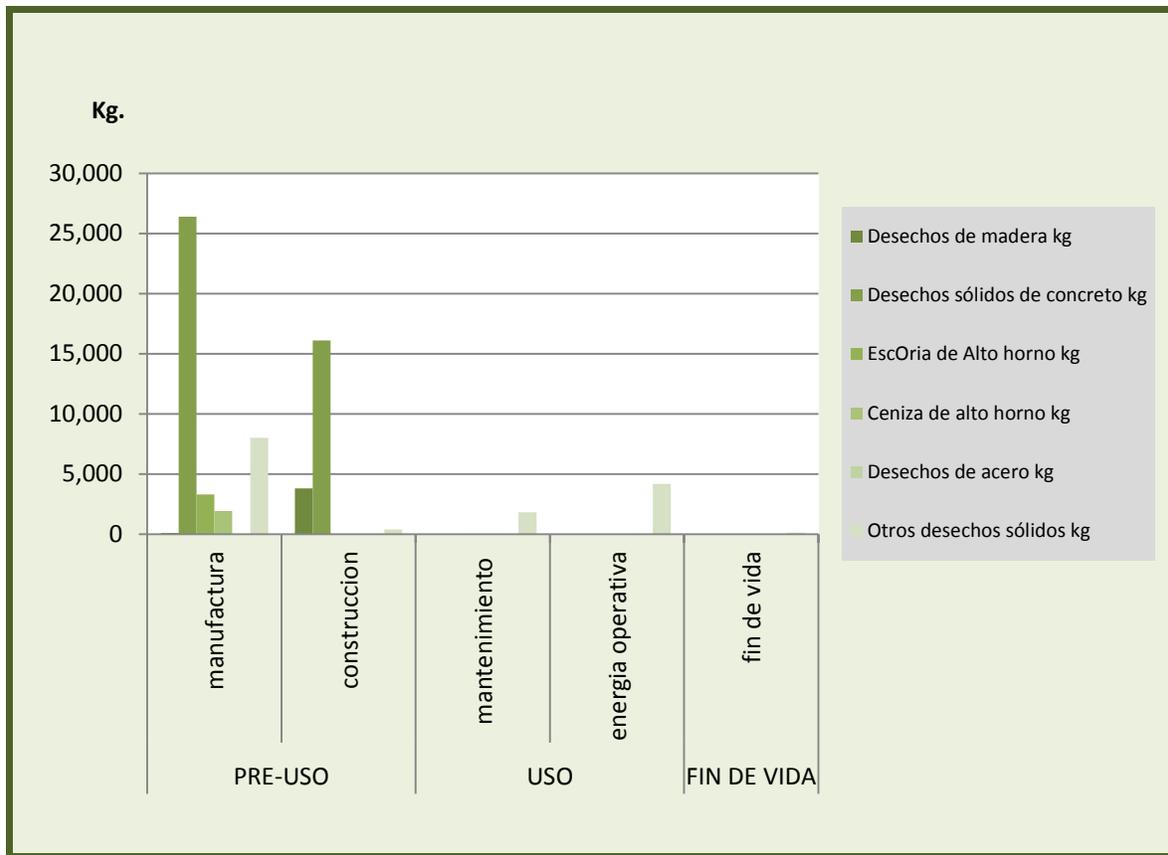
A diferencia de la etapa de uso, en el pre- uso se muestra un menor consumo de energía, con un 42% del consumo total de energía primaria. Como se observa en la tabla, en esta etapa se consideraron dos fases, la fase de manufactura de materiales y la fase de construcción de la vivienda. Los resultados reflejan un mayor consumo de energía en la fase de maufactura calculandose 2,770,000 MJ, el cual es un valor que representa el 80% del total de energía solo en el pre-uso. En este caso, el cemento es uno de los materiales que mayor consumo de energía requiere en su proceso de manufactura.

Por otro lado, la fase de construcción representa un consumo menor de aproximadamente 20%, siendo notoria la relevancia de toda la energía involucrada en el proceso de manufactura de materiales. Sin embargo, es importante recalcar que la etapa de construcción es la que presenta influencia más directa en la población.

Finalmente, en la etapa de fin de vida casi no se hace evidente el gasto de energía primaria. En esta etapa, si bien es cierto interviene toda la energía que implica la demolición de la vivienda, también se consideran la energía asociada al transporte y al manejo de los materiales que ya no serán utilizados, todo el material proveniente de la demolición.

**Tabla 5.2** Tabla de emisiones de desechos al suelo.

Etapa del ciclo de vida	PRE-USO		USO		FIN DE VIDA	TOTAL
	manufactura	construcción	mantenimiento	energía operativa	fin de vida	
Desechos de madera kg	120	3,810	0	0	0	3,930
Desechos sólidos de concreto kg	26,400	16,100	0	0	0	42,500
Escoria de Alto horno kg	3,300	0	2	0	0	3,302
Ceniza de alto horno kg	1,930	0	1	0	0	1,931
Desechos de acero kg	16	24	4	0	0	43
Otros desechos sólidos kg	8,010	392	1,820	4,180	144	14,546



**Figura 5.2** Emisiones de desechos al suelo en las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

Seguidamente, en la Tabla 5.2 y Figura 5.2 se muestran las cantidades de desechos y emsiones arrojados al suelo originados por etapa del ciclo de vida. Claramente, se puede observar que la etapa más significativa es la de pre-uso, en la cual se producen cerca del 90% del total de emisiones a la tierra, en su mayoría emisiones de desechos sólidos de concreto y desechos de madera, 42,500 kg.y 3,930 kg. respectivamente. Los resultados obtenidos muestran que el concreto y la madera, el primero al ser el material primordial en la construcción de la vivienda y el segundo al ser utilizado para el encofrado en esta misma etapa, presentan un alto nivel de impacto para este indicador.

Los desechos sólidos de concreto en general, tienen mayor presencia comparandolo con los desechos como escorias, cenizas, de acero y otros sólidos. Solo en desechos de concreto se obtuvo un total de 42,500 kg. en todo el ciclo de vida de la vivienda. Este resultado resulta predescible cuando se tiene el concreto como material de construcción predominante en la vivienda.

En la fase de construcción, etapa de pre-uso, la cantidad de desechos de madera es de 3,810 kg. Los desechos de acero no presentan mayor impacto a la tierra debido a que su contribución es mínima comparada con los otros tipos de desechos. La escoria y ceniza de alto horno, solo tienen una presencia significativa en la etapa de manufactura donde alcanzan 5,230 kg.

La etapa de uso no presenta resultados notables ya que solo representa un 8% del total de emisiones. En la etapa de mantenimiento de la vivienda se obtuvo una cantidad de 1,820 kg. de otros desechos sólidos, y un escaso o nulo monto de desechos de acero o madera. Como se sabe, la etapa de uso la conforman el mantenimiento de la vivienda y la energía de funcionamiento u operativa, ambos arrojaron un total de 6,000 kg. de desechos para esta etapa.

Finalmente, la cantidad de emisiones al suelo es de 144 kg. de otros desechos sólidos, en la etapa de fin de vida.

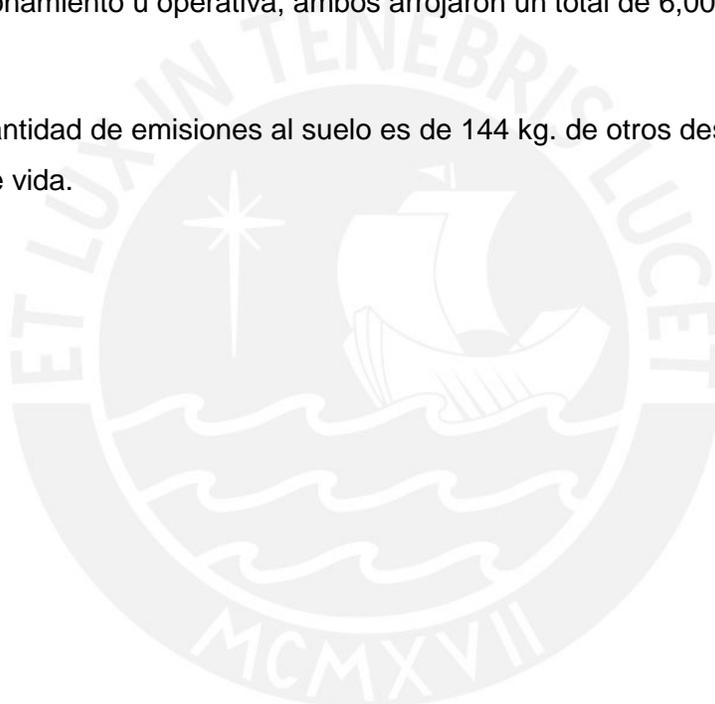


Tabla 5.3 Tabla de uso de recursos

Recursos	PRE-USO		USO		FIN DE VIDA	TOTAL
	manufactura	construcción	mantenimiento	energía operativa	fin de vida	
Piedra caliza kg	176,083	0	452	0	0	176,535
Arcilla kg	82,128	0	0	0	0	82,128
Mineral de hierro kg	1,978	0	10	0	0	1,988
arena kg	3,338	0	450	0	0	3,789
Ceniza kg	1,116	0	0	0	0	1,116
Otros kg	810	0	21,483	0	0	22,293
Yeso (Natural) kg	7,692	0	0	0	0	7,692
Material semi-cemento kg	19,762	0	0	0	0	19,762
Agregado gbrueso kg	607,831	0	0	0	0	607,831
Agregado fino kg.	510,980	0	0	0	0	510,980
agua L	696,513	0	437	0	0	696,950
Chatarra de acero kg	24,200	0	15	0	0	24,215
Carbón kg	33,830	174	2,148	13,016	64	49,234
Fibra de madera kg	6,217	0	0	0	0	6,217
Resinas kg	117	0	0	0	0	117
uranio kg	1	0	1	0	0	2
Gas Natural m3	24,464	573	5,890	53,083	210	84,221
Gas Natural como materia prima m3	95	0	328	0	0	423
Petróleo Crudo L	9,821	16,623	3,089	2,984	5,202	37,719
El petróleo como materia prima L	597	0	13,601	0	0	14,198
Carbón metalúrgico como materia prima kg	144	0	0	0	0	144
Chatarra de acero como materia prima kg	15,327	0	9	0	0	15,336

A continuación se dividen los resultados de la cantidad de uso de recursos, en las figuras 5.3 y 5.4.

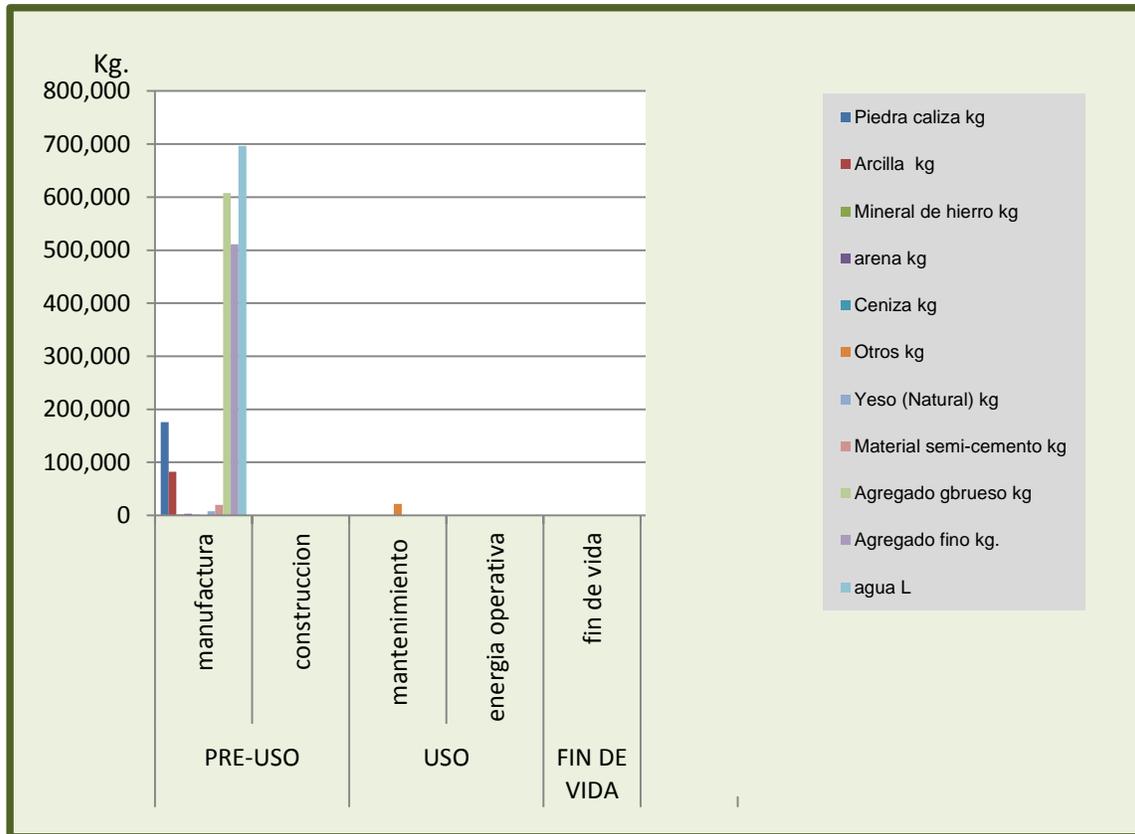


Figura 5.3 Uso de recursos en las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

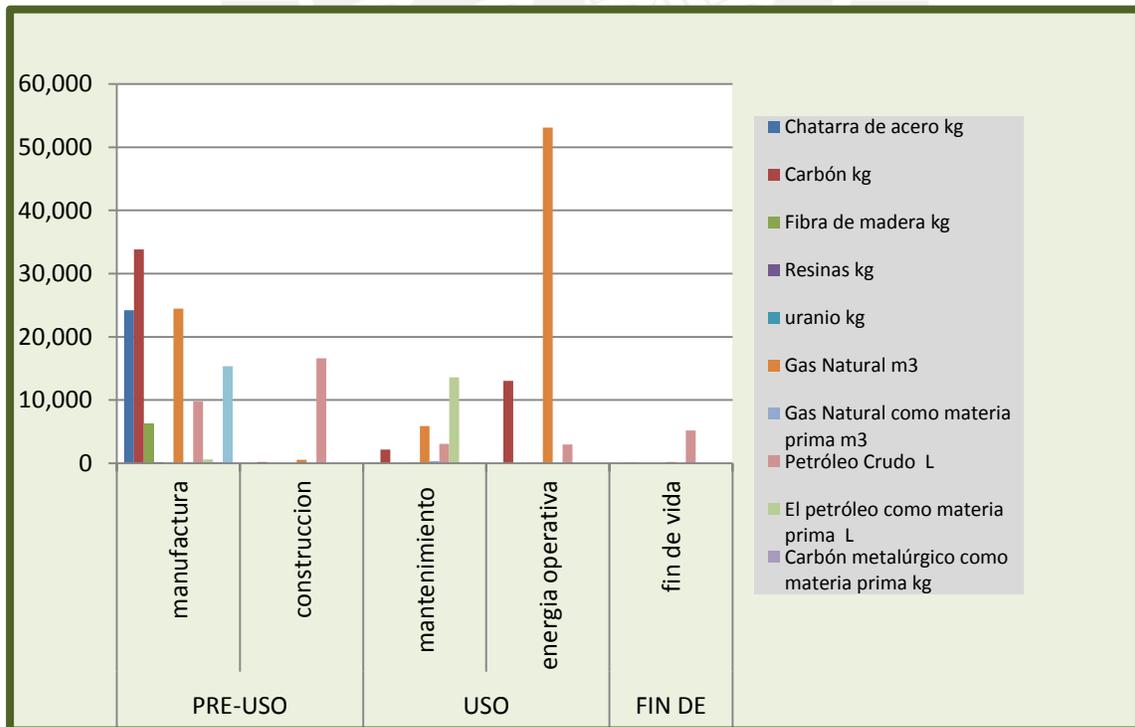


Figura 5.4. Uso de recursos en las etapas del ciclo de vida de la vivienda

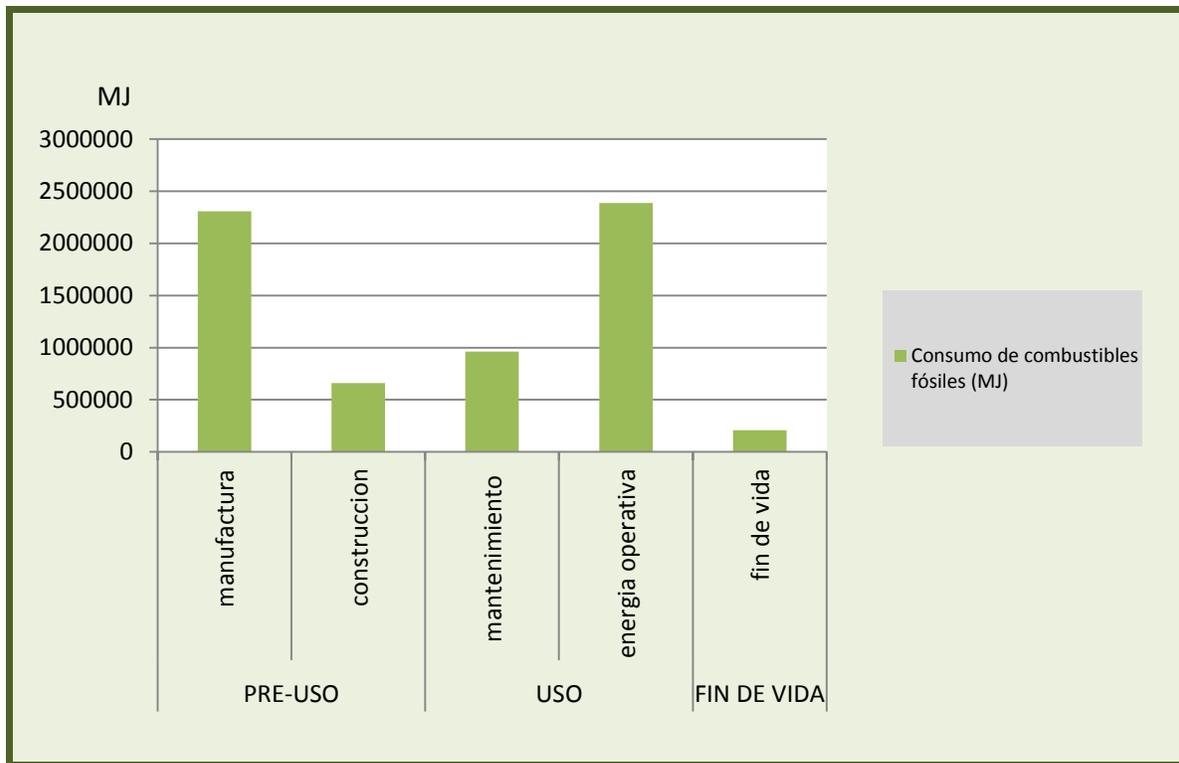
En las Figuras 5.3 y 5.4 se observan las cantidades de recursos utilizados para cada etapa del ciclo analizado. Se muestra como en la etapa de pre-uso, particularmente en la manufactura de materiales, se hace uso de una serie de recursos siendo el agua y el gas natural los más utilizados comparado con los otros recursos que intervienen. Estos presentaron cantidades de 696,513 litros y de 24,464 m<sup>3</sup> respectivamente. Asimismo, se observan grandes cantidades de agregado grueso y agregado fino en esta misma etapa. En la fase de construcción de de la vivienda los recursos con mayor relevancia son el petróleo crudo, el gas natural y el carbón.

En general, las tablas anteriores muestran que finalmente el recurso más utilizado fue el gas natural. En la etapa de uso se refleja este resultado ya que su consumo para la energía de funcionamiento u operacional, exactamente fue de 53,083 m<sup>3</sup>. o 53,083,000 l.

Finalmente, la cantidad de recursos utilizados en la etapa de fin de vida no resulta ser relevante en comparación a las etapas precedentes.

**Tabla 5.4** Tabla de consumo de combustibles fósiles.

Indicador	PRE-USO		USO		FIN DE VIDA	TOTAL
	manufactura	construcción	mantenimiento	energía operativa	fin de vida	
Consumo de combustibles fósiles (MJ)	2,309,208	660,557	960,435	2,386,437	208,062	6,524,700



**Figura 5.5** Consumo de combustibles fósiles en las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

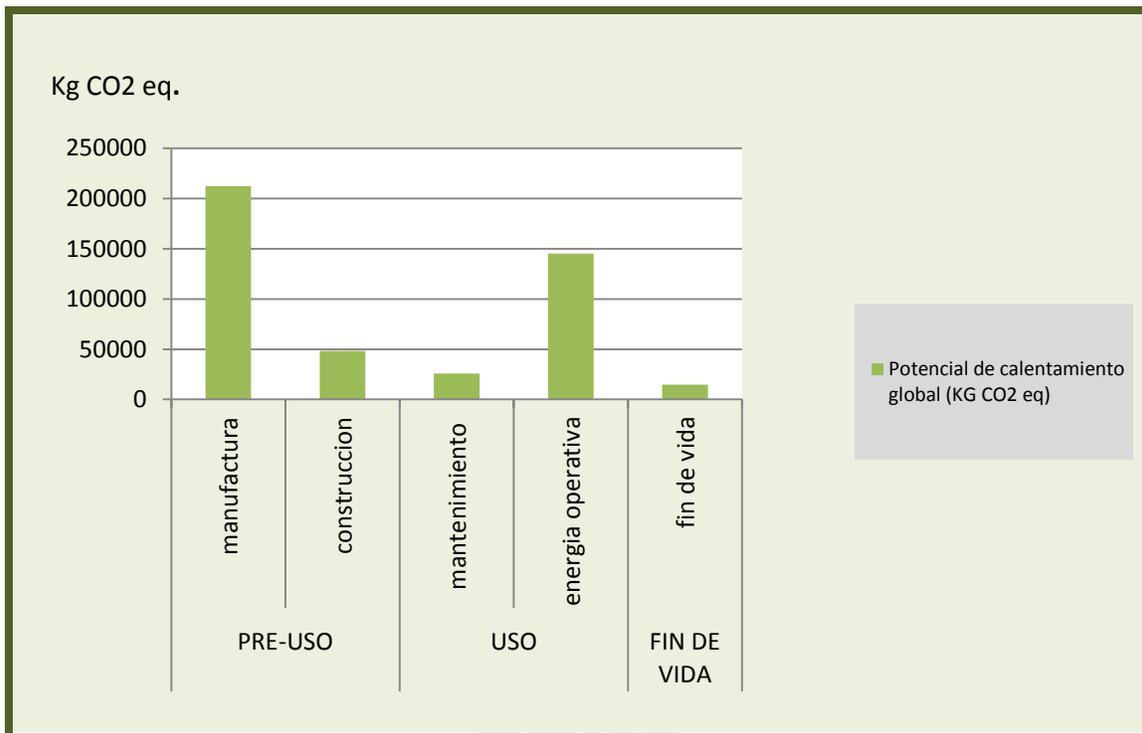
El consumo de combustibles fósiles en todo el ciclo de vida es alrededor de 6,524,700 MJ. La etapa de uso es la más sobresaliente ya que es aquí donde se refleja un consumo de 3,346,872 MJ, energía proveniente del uso de combustibles fósiles, primordialmente de gas natural. La energía utilizada en el mantenimiento de la casa, así como en la energía de funcionamiento u operativa de la vivienda son las que mayor porcentaje de participación tienen (51.5%), siendo la última fase, energía operativa, la que más uso de combustibles fósiles requirió.

La etapa de pre-uso también muestra notables resultados de consumo de fósiles, sobretodo en la etapa de manufactura. Los materiales utilizados requieren cierta cantidad de energía en el proceso de manufactura y también en el proceso previo de transporte.

En la etapa de fin de vida, el resultado es mínimo comparado con las otras dos primeras etapas, presentando un consumo de 3.2% del total. Este resultado es producto básicamente, del uso de combustibles fósiles que intervienen en el transporte de materiales y desechos originados en la demolición de la vivienda.

**Tabla 5.5** Tabla de potencial de calentamiento global

Indicador	PRE-USO		USO		FIN DE VIDA	TOTAL
	manufactura	construcción	mantenimiento	energía operativa	fin de vida	
Potencial de calentamiento global (Kg CO2 eq)	212,355	48,388	25,904	145,108	14,605	446,358



**Figura 5.6** Potencial de calentamiento global en las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

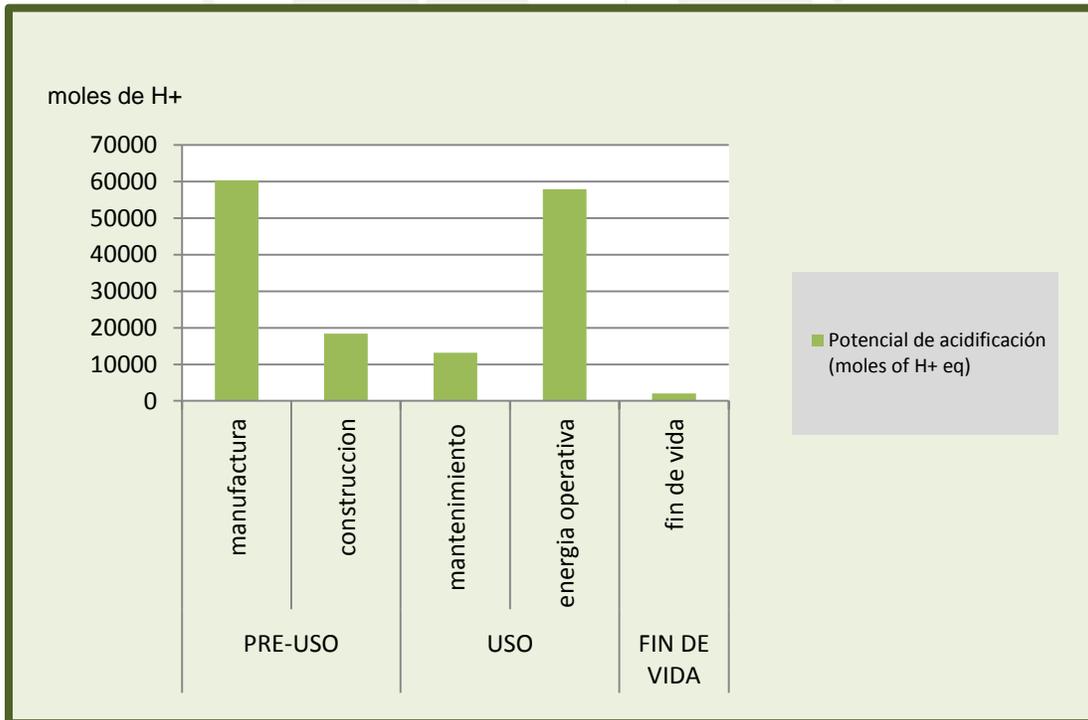
En el caso del potencial de calentamiento global, se puede observar que en la etapa de pre-uso se produjo un mayor índice correspondiente a este indicador. Existe un mayor potencial en la fase de manufactura que en la fase constructiva, siendo el resultado de la primera una cantidad mayor a 200,000 Kg CO2 eq. Toda la etapa de pre-uso alcanza un total de 260,743 Kg CO2 eq. Si bien es cierto, los resultados indican un importante índice de potencial en la etapa de uso, hay una diferencia de aproximadamente 20 % entre las dos primeras etapas, siendo la etapa de pre-uso la más significativa. Sin embargo, es

importante mencionar la relevancia de la energía operativa o de funcionamiento porque presenta un resultado de 145,107.50 Kg CO<sub>2</sub> eq, el cual sobresa en el cuadro para la etapa de uso.

Finalmente, en esta categoría se observa una vez más, un resultado mínimo para la última etapa del ciclo de vida. Esta consecuencia se debe a que los factores causantes del calentamiento global son gases efecto invernadero producidos por actividades como la combustión de combustibles fósiles o la producción de electricidad, actividades que tienen mayor presencia en las primeras etapas del ciclo de vida de la vivienda y no en la etapa de demolición.

**Tabla 5.6** Tabla de potencial de acidificación.

Indicador	PRE-USO		USO		FIN DE VIDA	TOTAL
	manufactura	construcción	mantenimiento	energía operativa	fin de vida	
Potencial de acidificación (moles de H+ eq.)	60,308	18,405	13,142	57,889	2,027	151,773



**Figura 5.7** Potencial de acidificación en las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

De acuerdo a la tabla 5.6 y figura 5.7 , el índice total de potencial de acidificación generado durante el ciclo de vida analizado es de 151,773 moles de H<sup>+</sup> eq. Estos niveles de acidificación se presentan con mayor énfasis en las dos primeras etapas: pre-uso y uso.

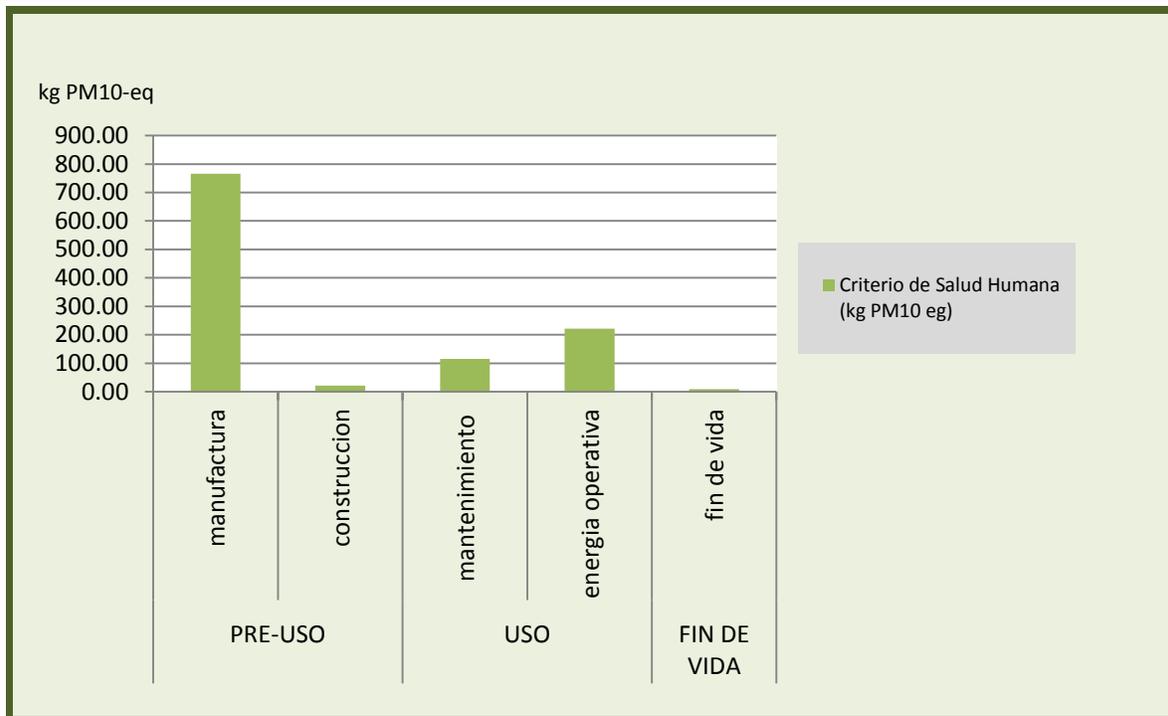
En la etapa de pre-uso, solo en la fase de manufactura se generaron 60,309 moles de H<sup>+</sup> eq. de los cuales, fueron 5,820 moles de H<sup>+</sup> eq. producto de los materiales implicados y 2,140 moles de H<sup>+</sup> eq originados en el transporte de los mismos. La fase de construcción presenta un menor cantidad de aproximadamente 18,406 moles de H<sup>+</sup> eq.

Luego, en la etapa de uso, el resultado indica un total de 71,032 moles de H<sup>+</sup> eq, siendo la energía operativa la causante de generar un nivel de acidificación de 57,889 moles de H<sup>+</sup> eq.

Por último, no se produjeron índices elevados de acidificación en la etapa de fin de vida.

**Tabla 5.7** Tabla de criterio de salud humana.

Indicador	PRE-USO		USO		FIN DE VIDA	TOTAL
	manufactura	construcción	mantenimiento	energía operativa	fin de vida	
Criterio de Salud Humana (kg PM10–eg.)	766	21	116	221	9	1,133



**Figura 5.8** Efectos en salud humana en las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

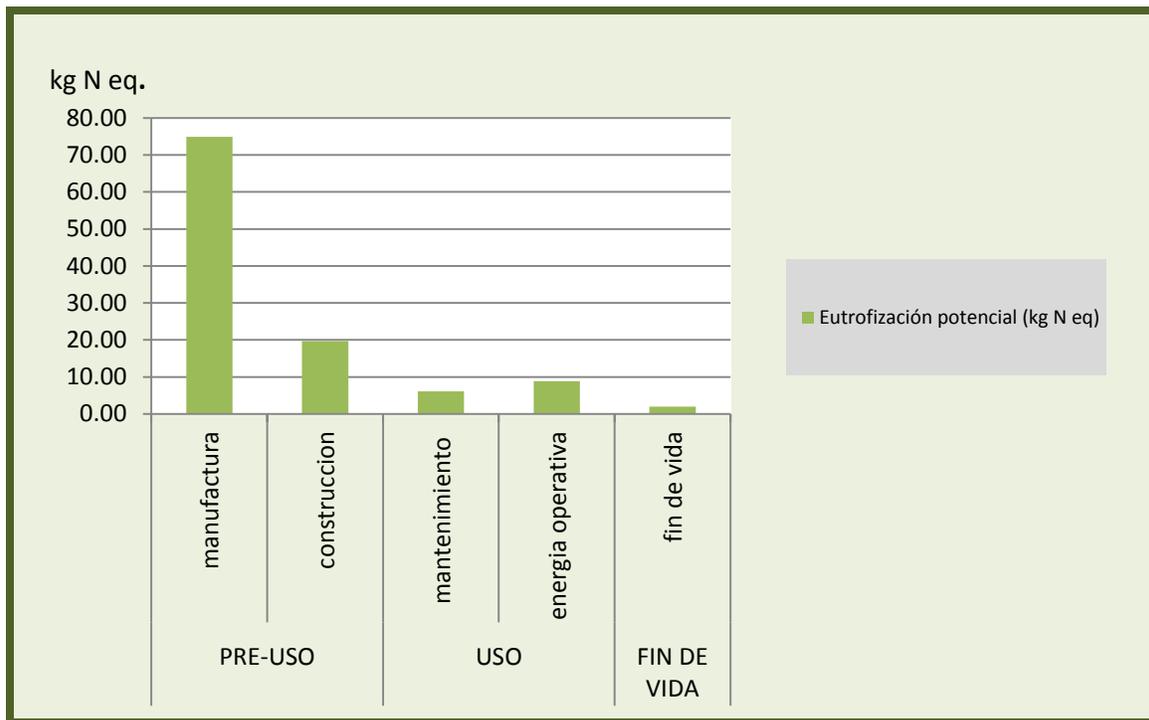
Para el indicador de criterio de salud humana, la figura 5.8 y la tabla 5.7 muestran el claro impacto a la salud provocado por las acciones que se llevan a cabo en la etapa de pre-uso, específicamente en la etapa de manufactura. Las emisiones generadas en esta primera etapa alcanzan los 700 *kg PM10-eq.* generados.

En la etapa siguiente, el mantenimiento y la energía operativa tienen un impacto generado de 116 *kg PM10-eq* y 221 *kg PM10-eq* respectivamente, observándose grandes diferencias entre una etapa y otra.

Como ocurre en la mayoría de casos para los indicadores analizados, la etapa final presenta resultados bajos, en este caso es de 9 *kg PM10-eq.*

**Tabla 5.8** Tabla de potencial de eutrofización.

Indicador	PRE-USO		USO		FIN DE VIDA	TOTAL
	manufactura	construcción	mantenimiento	energía operativa	fin de vida	
Potencial de Eutrofización (kg N eq.)	75	20	6	9	2	112



**Figura 5.9** Potencial de Eutrofización en las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

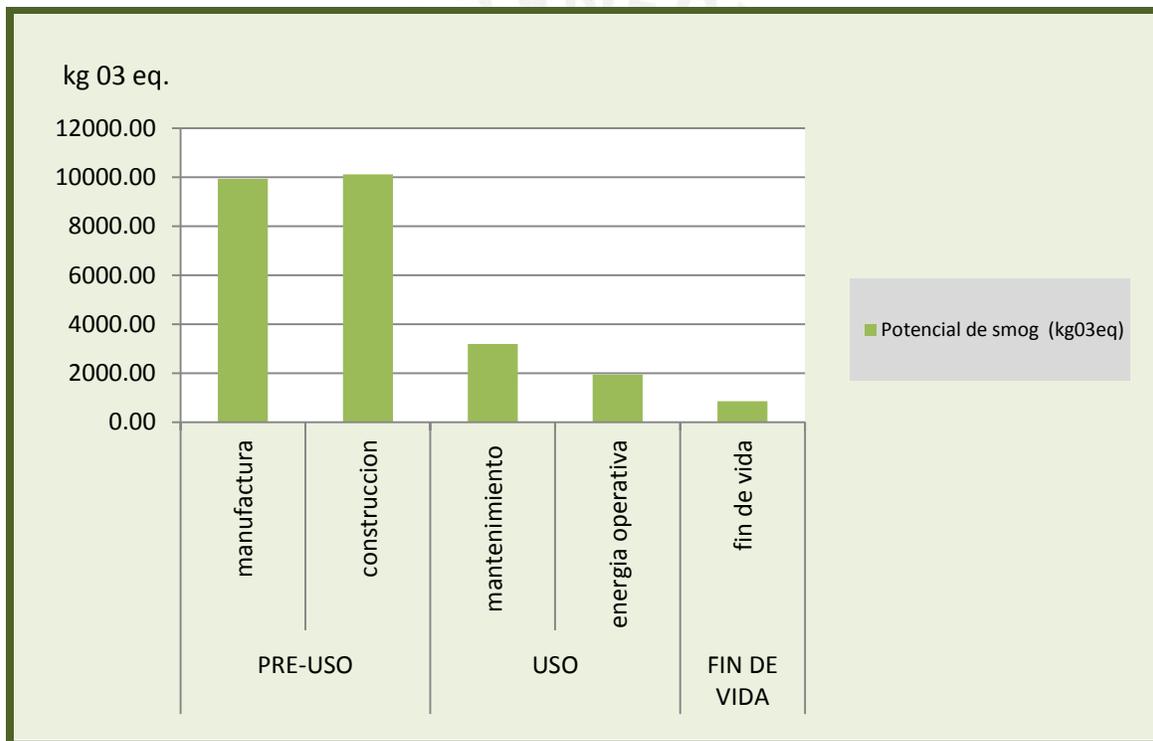
Los resultados indican que existe un mayor potencial de eutrofización en la etapa de pre-uso, siendo 75 kg N eq. el número producido por la manufactura de materiales y 20 kg N eq. por la fase constructiva.

Hay una gran diferencia entre la primera etapa de pre-uso y la etapa de uso para el indicador de potencial de eutrofización. La etapa de pre-uso presenta una cantidad de 95 kg N eq. siendo este un resultado mucho mayor al que se observa en la etapa de uso, el cual fue de 15 kg N eq.

En la figura 5.9 se observa un claro descenso del nivel de impacto a medida que transcurren las etapas. Una vez más, la etapa de fin de vida refleja un resultado mínimo.

**Tabla 5.9** Tabla de Potencial de smog.

Indicador	PRE-USO		USO		FIN DE VIDA	TOTAL
	manufactura	construcción	mantenimiento	energía operativa	fin de vida	
Potencial de formación de ozono fotoquímico (smog) (kgO3eq.)	9,940	10,121	3,193	1,943	851	26,047



**Figura 5.10** Potencial de Smog en las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

En el gráfico se observa de manera notoria como se impone la etapa de pre-uso sobre las demás, a nivel de potencial de generación de smog. Solo para la etapa de pre-uso, la cantidad de smog producido en kg O3 equivalente es mucho mayor que las dos siguientes fases.

Esta primera etapa de pre-uso, representa un 77% del total de potencial de smog generado, el cual presenta su nivel más alto en la fase de construcción. Continuando con la siguiente etapa, en el uso de la vivienda el mantenimiento presenta 3,193.00 *kg O<sub>3</sub> eq.* mientras que la energía operativa genera un 1,943.00 *kg O<sub>3</sub> eq.*

Finalmente, la etapa de fin de vida representa el 3.3 % del total de potencial de smog generado, demostrando una vez más que esta última etapa es la que causa menor impacto al medio ambiente.



## CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 ASPECTOS GENERALES

En el trabajo realizado se analizaron algunos indicadores de impacto ambiental cuyos resultados serán discutidos a continuación.

El primer indicador que se analizó fue el de consumo de energía primaria. La etapa de uso resultó ser la más importante ya que se necesita una gran intervención de energía para el funcionamiento de la vivienda. El uso de energía para el sistema eléctrico, electrodomésticos o aparatos tecnológicos son causantes de este nivel de consumo. Existe una falta de conciencia sobre ahorro de energía en Lima. Son muy pocas las personas que optan por un uso mínimo de energía en sus viviendas y el crecimiento en el número de consumidores del mercado tecnológico, además del electrodoméstico, es una muestra de ello.

En Lima existen una serie de maquinarias y herramientas para todos los procesos que intervienen en una construcción. Las técnicas utilizadas para la manufactura de materiales son procesos complejos donde se requieren grandes cantidades de energía, es por ello que en la etapa de pre-uso, las cantidades son menores a lo generado en la etapa de uso pero también resultan ser significativos.

Un ejemplo del importante consumo de energía en la manufactura de materiales, es el que se presenta en la producción del cemento. Para la elaboración del cemento, como primer paso se tiene la extracción de materia prima la cual es procesada por molinos crudos siguiendo con el proceso de homogeneización, el cual se puede dar por vía seca o por vía húmeda. Es en el proceso por vía húmeda donde la materia prima se mezcla y se homogeniza para continuar su camino hacia los hornos, donde será sometido a una temperatura mayor a 1500 para la producción del clinker. Es por este motivo que elevadas cantidades de energía son empleadas.

Por otro lado, grandes cantidades de desechos y residuos son generados no solo en la etapa de fin de vida, sino en los procesos de manufactura y construcción de la vivienda.

El número de obras en Lima sigue en aumento y es una de las principales causas del incremento de residuos sólidos en la ciudad. Para enfatizar este crecimiento general de residuos sólidos, se debe mencionar que la generación per cápita de residuos sólidos

municipales pasó de 0.711 hg/hab/día en el 2001 a 1.08 kg/hab/día el 2007 (Minam, 2008). Si se considera el impacto que se puede generar desde la primera etapa de construcción, es evidente la necesidad de ejecutar un plan adecuado de recolección de residuos y desechos.

El impacto generado por desechos sólidos es un problema que cada vez resulta más complicado de batallar y que muchos municipios no pueden controlar (Minam, 2013). No hay una adecuada planificación en este tema y se sabe que muchos desechos provocados por el sector construcción tienen como destino final la playa más cercana.

El análisis sobre uso de recursos reveló que el recurso más utilizado es el gas natural. Desde hace pocos años, se buscó hacer uso en las viviendas, de un combustible ecológico y que tenga menor impacto al medio ambiente por la poca generación de gases en su combustión, por este motivo se inició el trabajo de colocación de gas natural en muchas viviendas de la ciudad (Masters y Ela, 2008).

En el caso de los combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas natural son empleados para obtener energía, es por ello que el mayor consumo se dio en la etapa de uso debido al mantenimiento de la vivienda y a la energía de funcionamiento en la misma.

Se debe tener en consideración que el uso de combustibles fósiles genera una contaminación considerable a la atmósfera, además de provocar lluvia ácida y una serie de enfermedades respiratorias (Masters y Ela, 2008).

Asimismo, es importante recalcar el nivel del potencial de calentamiento global alcanzado. El calentamiento global se produce principalmente por la generación de gases efecto invernadero.

La mayoría de gases causantes del calentamiento global, derivan de la combustión de algunos combustibles fósiles que intervienen en la producción de electricidad. Estos gases tienen la característica de ser capaces de retener el calor. El gas con mayor responsabilidad en esta problemática es el dióxido de carbono, mas existen otros gases como el metano, que liberan los vertederos, gases que intervienen en procesos industriales y óxido nitroso, que también contribuyen en los niveles de impacto (Masters y Ela, 2008). Es por ello, que en el proceso de manufactura, al estar conformado por técnicas industrializadas, se generan cantidades altas de gases de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el

dióxido de carbono no solo es principal responsable del calentamiento global sino también de los niveles de acidificación. El dióxido de carbono al disolverse en el agua del océano, hace que la concentración del ión hidrógeno aumente, por lo que el pH del mar desciende (Masters y Ela, 2008).

Ante los niveles alcanzados en el análisis, para los casos de calentamiento global y acidificación, lo que se debe buscar es que en los procesos constructivos se presenten nuevas técnicas que involucren el menor uso de los materiales que generen mayor impacto. Por ejemplo, al aplicar procedimientos donde se reduzcan las cantidades de cemento para la producción de concreto, se podrá reducir los niveles de producción de CO<sub>2</sub> en la industria cementaria.

Si nos enfocamos en las consecuencias para el ser humano, era de esperarse que los daños en la salud se presenten en su mayoría, en el proceso de manufactura.

Existe un mayor índice de emisiones al aire en esta etapa debido al polvo de sílice que se libera en el proceso de elaboración del cemento. La sílice es uno de los elementos causantes de riesgo en la salud de las personas que trabajan en la planta de elaboración. La enfermedad que se genera con mayor frecuencia es la silicosis, nombre de la neumoconiosis que se produce por inhalar partículas de sílice. Es indispensable que se realice una buena elección del lugar donde estará la planta de elaboración, de esta manera será posible que los riesgos disminuyan, sobre todo los que son provocados por procesos tóxicos.

Por último, los contaminantes producidos en los procesos de combustión, como óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y otros hidrocarburos ligeros, se presentan con una gran concentración en la atmósfera, y son los causantes de la creación de smog. Nuestra ciudad está en la lista de ciudades con mayor presencia de smog fotoquímico en Latinoamérica (Diario El Comercio, 2012). Si bien es cierto, existen otros sectores que son la principal fuente de generación de smog, el sector construcción también cumple un papel relevante. Los resultados obtenidos a nivel de potencial de generación de smog en este proyecto, solamente abarcan el caso de una vivienda. Si consideramos todas las construcciones que se están ejecutando, las cuales tienen mucha mayor extensión que la vivienda en análisis, se concluirá que efectivamente no es una contribución mínima a la generación de smog la que se produce por el sector construcción.

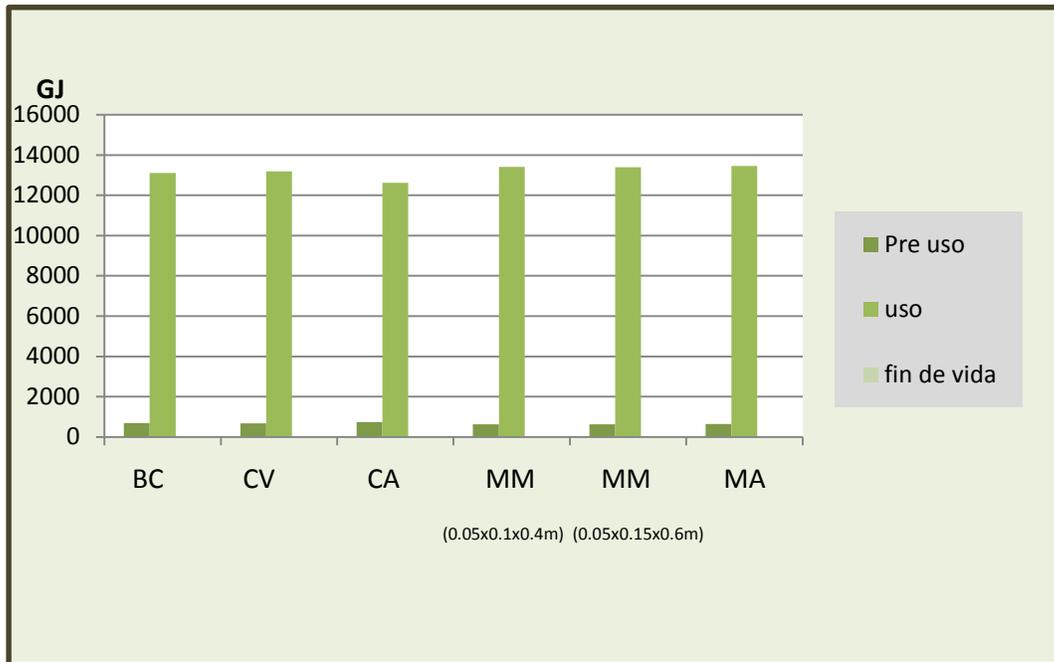
Desafortunadamente, las consecuencias por la presencia de smog son realmente graves ya que afecta directamente a la población debido a su presencia toxica e irritante, además de ser causante de enfermedades respiratorias, efecto que se repite en muchas de las grandes ciudades del mundo.

## 6.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

A continuación, se analizarán dos estudios enfocados en la aplicación de la herramienta de análisis de ciclo de vida, se muestran las similitudes y diferencias que existen entre los resultados obtenidos en cada uno de ellos y los resultados conseguidos en este trabajo.

En el estudio realizado por Kahhat et al. (2009), se realizó el análisis de ciclo de vida para el caso de una vivienda con diferentes sistemas de muros exteriores. La vivienda estudiada está ubicada en el estado de Arizona y tiene un área promedio de 207 m<sup>2</sup>.

El estudio se enfocó en el indicador de consumo de energía primaria. Como se puede observar en la Figura 6.1, el cuadro muestra los resultados obtenidos para los diferentes sistemas de muros y considerando las etapas del ciclo de vida.



**Figura 6.1** Energía consumida en la etapa de pre-uso, uso y fin de vida considerando 50 años de vida útil. Fuente : Adaptado de *Environmental Impacts over the Life Cycle of Residential Buildings Using Different Exterior Wall Systems* (Ramzy Kahhat y colegas, 2009).

BC: Bloques de concreto, CV: Concreto vertido in-situ, CA: Concreto aislado, MM: Marcos de madera, MA: Marcos de acero.

Si se enfoca en los resultados de consumo de energía primaria para el caso de la vivienda con muros de concreto vertidos in situ, los resultados se resumen en un consumo ampliamente mayor para la etapa de uso.

**Tabla 6.1** Tabla de consumo de energía primaria para el caso de viviendas unifamiliar en el estado de Arizona y en la ciudad de Lima.

Estado	Características	Consumo total de energía primaria por etapa del ciclo de vida (GJ)		
		Pre uso	Uso	Fin de vida
Arizona	País: EE.UU, Phoenix Vida Util: 50 años Area contruida: 200 m2. Clima: Arido o desértico	671 (4.84%)	13185 (95.10%)	7 (0.06%)
Lima	País: Perú, Lima Vida Util: 50 años Area contruida: 478 m2. Clima: Templado, húmedo	3432 (42.26%)	4480 (55.17%)	208 (2.57%)

En el caso de Estados Unidos, la energía de funcionamiento en la etapa de uso se considera lo siguiente:

- Agua caliente
- Ventilación
- Aire acondicionado
- Calefacción
- Equipos diversos
- Luces de ambientes

El estudio además muestra un cuadro con resultados cuantitativos sobre esta misma energía de funcionamiento, resultados enfocados en diferentes sistemas de muros exteriores. Para el caso de una vivienda con un sistema de muros de concreto vaciados in-situ, se observa que la participación del aire acondicionado más la calefacción es de 28% sobre el total de consumo por energía de funcionamiento u operativa. Es decir, el consumo por energía de funcionamiento, energía consumida en el hogar en un año es de 50.4 GJ sin considerar la participación del aire acondicionado y la calefacción. Por lo tanto, para 50 años de vida útil, se obtiene una cantidad de 2520 GJ aproximadamente. Finalmente, este último valor se asemeja a la cantidad de consumo por energía de funcionamiento u operativa que se obtiene para viviendas en la ciudad de Lima, valor de 2850 GJ.

**Tabla 6.** Comparación por cantidades de materiales utilizados en los casos de una vivienda en Arizona con muros exteriores y una vivienda en Lima.

MATERIAL	CANTIDADES	
	ARIZONA	LIMA
<b>Concreto 20 MPa (cenizas volantes) (m3)</b>	<b>59.85</b>	<b>417.23</b>
Clavos (T)	0.33	0.08
Alambre, cables soldados (T)	0.24	0.89
<b>Acero, varilla, perfiles ligeros (T)</b>	<b>1.06</b>	<b>37.98</b>
Hojas de galvanizado (T)	0.44	0.23
Madera blanda de pequeñas dimensiones (m3).	11.92	2.87
Pintura de látex a base de agua (l)	231.90	1052.84
Aluminio (T).	0.57	0.46
Asfalto orgánico saturado # 30 (m2)	1214.62	1066.62
Membrana EPDM (kg)	272.29	28.90
Teja de hormigón (m2)	637.07	400.44
Acristalamiento Estaño ( m2)	216.10	33.10

De la tabla anterior se pueden notar las diferencias en la cantidad de material utilizado para los dos casos, siendo este uno de los factores principales de la diferencia en el consumo de energía primaria en la etapa de pre-uso de ambas viviendas.

El concreto, el acero y la cantidad de pintura utilizada son los materiales que presentan la mayor desigualdad en cantidades. Si bien es cierto, la diferencia radica en que las dimensiones de la vivienda en Lima es mayor que la vivienda en Arizona, la mayor intervención de concreto y de acero significa mayor impacto en la primera etapa. En el caso del concreto, el proceso de manufactura de materiales está representado principalmente por el proceso de fabricación de cemento, el cual refleja un alto nivel de impacto ambiental en la primera etapa. Asimismo, la intervención de mayor cantidades de acero, al ser un material que implica en su manufactura procesos de reducción en el horno alto, preparación del mineral, fundición, laminación y acabado, y utilización de combustibles para los hornos, calderas y centrales térmicas, representa considerables niveles de impacto al ambiente en la etapa de pre-uso.

Las grandes diferencias en los resultados de consumo de energía primaria en la etapa de pre-uso, radica básicamente en la cantidad de material utilizado en la construcción de cada una, en los procesos de manufactura que tienen los materiales y en los sistemas constructivos distintos.

En el segundo estudio realizado por Luis Ochoa et al. (2002), se muestra un cuadro introductorio donde se ubican los porcentajes del nivel de impacto ambiental por etapa de ciclo de vida para los indicadores de actividad económica, electricidad, energía, potencial de calentamiento global, desechos dañinos y emisiones al aire.

**Tabla 6.2** Comparación por rubro de viviendas residenciales en Estados Unidos, año 1997.

Rubro	Etapa del ciclo de vida		
	Construcción	Uso	Fin de vida
Actividad económica	46%	54%	0.03%
Electricidad	5%	95%	0%
Energía	6%	93%	0.37%
Potencial de calentamiento global	8%	92%	0%
Desechos dañinos	51%	51%	0.03%
TRI aire	57%	57%	0.03%

En este caso, el enfoque comparativo se realizará para los indicadores de energía, potencial de calentamiento global, desechos dañinos y emisiones al aire. La tabla 6.3 muestra los resultados obtenidos en el caso de una vivienda unifamiliar en Lima.

**Tabla 6.3** Porcentaje de impacto ambiental por indicador en cada etapa del ciclo de vida para una vivienda unifamiliar en Lima.

Rubro	Etapa del ciclo de vida		
	Pre-uso	Uso	Fin de vida
Energía	42.27%	55.17%	2.60%
Potencial de calentamiento global	58.40%	38.30%	3.30%
Desechos o emisiones al suelo	94.70%	4.98%	0.23%
Criterio de salud humana	69.46%	29.74%	0.79%

Como se puede observar, hay una clara diferencia en los porcentajes de las etapas de pre-uso y uso para los tres primeros indicadores en el caso de viviendas en Lima y Estados Unidos.

Para el caso del indicador de energía, las causas de la diferencia de resultados en la etapa de uso son las mismas que se mencionaron anteriormente. En Estados Unidos la energía de funcionamiento u operativa considera factores como calefacción y aire acondicionado en viviendas, estos factores no son considerados en un análisis de viviendas en Lima. Para el caso de Lima el consumo en las etapas de pre-uso y uso son valores cercanos ya que hay mayor participación en los procesos de manufactura de materiales.

Asimismo, uno de los factores causantes del incremento de potencial de calentamiento global es la presencia de gases efecto invernadero a consecuencia de la generación de electricidad. Es por ello, que a diferencia del caso de estudio en Lima en donde el nivel de potencial es mayor en la etapa de pre-uso, para el caso de viviendas Norteamericanas la cantidad más relevante se presenta en la etapa de uso.

Por último, en el caso de los indicadores de emisiones al suelo y de contaminación de aire, el primer cuadro presenta resultados semejantes para las dos primeras etapas. Por el contrario, para la vivienda analizada en Lima, los indicadores de desechos al suelo y criterio de salud humana muestran mayor nivel de impacto en la etapa de manufactura y construcción, siendo los procesos de manufactura de materiales la principal causa de impacto negativo.

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

En el transcurso del proyecto, se ha podido dar a conocer cuál es la realidad sobre la relación que existe entre el sector construcción y el ambiente. Si bien es cierto, el desarrollo del sector construcción representa un gran porcentaje del desarrollo general del país, este va de la mano con un mayor impacto negativo al ambiente.

Esta investigación estimó los impactos ambientales generados en diferentes categorías para el caso de una vivienda unifamiliar en la ciudad de Lima, aplicando la herramienta de análisis de ciclo de vida. El proyecto junto con el modelo desarrollado buscan no solo brindar información sobre las consecuencias ambientales a raíz de la construcción de viviendas, sino también influir en las futuras decisiones que tomen las personas responsables y aquellas involucradas en este rubro.

El estudio reflejó la importancia de la etapa de uso, siendo aquí donde se produjo el mayor consumo de energía primaria representado por un consumo de 4480,000 MJ. Solo en esta etapa. Además, aquí se presentó un alto nivel de impacto a consecuencia del consumo de combustibles fósiles, el cual alcanzó los 3346,872 MJ. La etapa de pre-uso también tuvo relevancia sobretodo por la manufactura de materiales, etapa la cual presentó mayores niveles en potencial de acidificación y en emisiones al aire.

Los resultados obtenidos permitirán decidir sobre nuevos procedimientos constructivos que se pueden aplicar con el objetivo de disminuir los niveles de impacto ambiental. Los procedimientos de solución deberán partir de la evaluación de nuevas técnicas que superen las ventajas de las que actualmente se utilizan, y al mismo tiempo deberán llevarse a cabo evaluaciones continuas de las mismas.

En el caso del sector construcción, muchas veces concurren intereses económicos y medioambientales en el mismo punto. En Lima y en el Perú en general, existe muy poca concientización sobre consecuencias y perjuicios provocados al medio ambiente.

Por este motivo resulta muy difícil difundir propuestas innovadoras que tengan un enfoque ambiental en el sector constructivo, ocasionando que no sea muy frecuente la búsqueda de opciones de mejora.

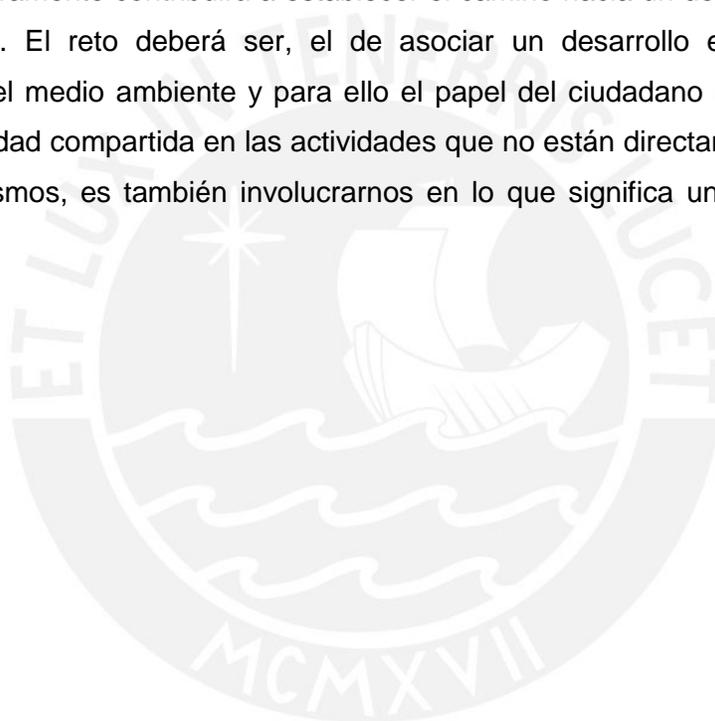
Si bien es cierto, en Lima se observa un crecimiento en el mercado "green building", aun el número de obras con estas características y que cuenten con la certificación LEED u otras son mínimas. Actualmente se conoce sobre el PERU GREEN BUILDING COUNCIL (PGB), consejo que maneja los temas de implementación de construcciones sostenibles en el Perú. Mediante la difusión, educación y promoción, tienen como objetivo cambiar la forma con la cual las construcciones son diseñadas y ejecutadas.

El Peru Green Building Council (PGB) abala el certificado Sello Verde, el cual demuestra que un producto colabora con el cuidado del medio ambiente y de esta manera favorece a la construcción sustentable. Este Sello constata que dicho producto presenta menor impacto al ambiente en todo su ciclo de vida. Asimismo, verifica que en la producción del mismo se tome en cuenta un control de contaminación y salud. Mediante el Sello Verde, el PGB colabora con la diferenciación de aquellos productos que cumplen con los requisitos de eficiencia ambiental, considerando la etapa de extracción de materia prima hasta el fin de su uso. Aquellos productos que cuenten con este Sello pertenecen al grupo de Mercado de Construcción Sostenible. De esta forma se promueve una mayor conciencia en temas ambientales enfocados en la industria de la construcción, beneficiando al país en general. En la actualidad, se observa poca difusión sobre propuestas de mejora en el tema de impacto ambiental, por ello se espera que el interés por la realización de estudios de análisis de ciclo de vida con el fin de buscar la certificación de Sello verde aumente.

De los resultados obtenidos, se puede observar la necesidad de tomar iniciativas sobre la aplicación de tecnologías que permitan reducir los niveles de impacto en la etapa de pre-uso, y al mismo tiempo establecer estrategias donde se cumpla con el objetivo de reducir el consumo de energía en la fase de uso, garantizando el confort térmico y acústico. Estudios realizados, como el ejecutado por Gregory A. Keoleian et al. (2000) para el caso de Estados Unidos, han demostrado que efectivamente se puede hacer uso de estrategias de conservación de energía generando de esta manera una importante reducción en la etapa de uso. En la última etapa de ciclo de vida, los resultados son mínimos comparados con las dos primeras etapas, pero los cambios deben darse de igual manera. En este caso, la solución radica en la implementación de más proyectos de reciclaje de materiales de construcción y el desarrollo de plantas para tratamiento.

En conclusión, el análisis de ciclo de vida es una herramienta provechosa para obtener el impacto ambiental de una vivienda. Los resultados de este proyecto muestran los indicadores más importantes, los cuales reflejan aquellos impactos con más relevancia generados en el ciclo de vida. Los valores obtenidos por indicador, brindan una idea de cuáles son los procedimientos que deben ser modificados y en que etapas deberán producirse estos cambios.

Finalmente, aplicar prácticas sostenibles en la ejecución de construcciones de cualquier envergadura, claramente contribuirá a establecer el camino hacia un desarrollo sostenible en nuestro país. El reto deberá ser, el de asociar un desarrollo económico con la conservación del medio ambiente y para ello el papel del ciudadano es crucial. Asumir una responsabilidad compartida en las actividades que no están directamente controladas por nosotros mismos, es también involucrarnos en lo que significa una responsabilidad social ambiental.



## REFERENCIAS.

**Energy Information Administration. (2011).** State Total Energy Rankings, 2011. U.S States-State profiles and energy estimates.

Disponible en: <http://www.eia.gov/state/>.

**Energy Information Administration. (2013).** State Renewable Electricity Profiles. Renewable and alternative fuels.

Disponible en: <http://www.eia.gov/renewable/state/>

**Horvath, A., and Matthews, H. S. (2004).** “Advancing sustainable development of infrastructure systems.” J. Infrastruct. Syst., 10(3), de la página 75 a la 78.

**INEI (2012).** Principales indicadores del sector construcción.

Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/construction/>

**Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. (2003).** “IMPACT 2002: A new life cycle impact assessment methodology”. The International Journal of Life Cycle Assessment, 8(6), de la página 324 a la 330.

**Junnila, S., and Horvath, A. (2003).** “Life cycle environmental effects of an office building.” J. Infrastruct. Syst., 9(4), de la página 157 a la 166.

**Junnila, S., Horvath, A., and Guggemos, A. A. (2006).** “Life cycle assessment of offices buildings in Europe and the United States.” J. Infrastruct. Syst., 12(1), de la página 10 a la 17.

**Kahhat, R., Crittenden, J., Sharif, F., Fonseca, E., Li K., Sawhney, A., and Zhang, P. (2009).**

“Environmental impacts over the Life Cycle of Residential Buildings Using Different Exterior Wall Systems” J. Infrastruct. Syst., de la página 211 a la 221.

**Keoleian, G., Blanchard, S., and Peppe, P. (2000).** "Life-cycle energy, costs and strategies for improving a single-family house." J. Ind. Ecol., 4(2), de la página 135 a la 156.

**Masters, Gilbert M., Wendell P. Ela (2008).** "Introducción a la ingeniería medioambiental", 3(1), de la página 40- 78.

**Ministerio del Ambiente (2013).** Legislación Ambiental.

**Ministerio de Energía y Minas (2009).** Cuadro Estadístico de Consumo de Energía por Sectores en el Perú.

**Ministerio de Energía y Minas (2009).** Matriz Energética del Perú para el año 2009.

**Mosteiro-Romero, M., Krogmann, U., Wallbaum, H., Ostermeyer, Y., Senick, J., Andrews, C. (2014).** "Relative importance of electricity sources and construction practices in residential buildings: A Swiss-US comparison of energy related life-cycle impacts". Energy and Buildings 68, de la página 620 a la 631.

**NREL (2013)** U.S. Life Cycle Inventory Database.  
Disponible en: <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>

**Ochoa, L., Hendrickson, C., and Matthews, H. S. (2002).** "Economic input-output life-cycle assessment of U.S. residential buildings." J. Infrastruct. Syst., 8(4), de la página 132 a la 138.

**Peru Green Building Council (2013).** Peru GBC- Sello Verde.

**Red Peruana Ciclo de Vida (2011)** Proyectos /Análisis de ciclo de vida de los biocombustibles en el Perú.

Disponible en: <http://red.pucp.edu.pe/ciclodevida/index.php/es/publicaciones/category/2-2.html>

**Red Peruana Ciclo de Vida (2011)** Presentaciones/ICV de las llantas.

Disponible en: <http://red.pucp.edu.pe/ciclodevida/index.php/es/publicaciones/category/4-1.html>

**The ATHENA Institute. (2003).** “The ATHENA Institute’s Environmental Impact Estimator (Version 3)(Computer software).” The ATHENA Sustainable Materials Institute, Ontario, Canada.

**The ATHENA Institute. (2008).** Environmental impact estimator: Summary indicator measures, The ATHENA Sustainable Materials Institute, Ontario, Canada.

**Valdez, E. (2011).** Análisis de Ciclo de Vida y Aspectos Medioambientales en el Diseño Estructural.

Disponible en: [http://libros.infonavit.janium.net/libros/PDFi/2011/Analisis\\_de\\_ciclo\\_de\\_vida\\_\(i\).pdf](http://libros.infonavit.janium.net/libros/PDFi/2011/Analisis_de_ciclo_de_vida_(i).pdf)

**Zapata, P., and Gambatese, J. A. (2005).** “Energy consumption of asphalt and reinforced concrete pavement materials and construction.” J. Infrastruct. Syst., 11(1), de la página 9 a la 20.