



**UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE BIOLOGÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL  
EN MORELIA MICHOACÁN**

Para obtener el grado de  
**MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Presenta

***Fabiola Yunuén Méndez Rivadeneyra***

Licenciada en Arquitectura

Director de Tesis:

***Dra. Liliana Márquez Benavides***

Fecha 5/10/2015

Morelia, Michoacán, Octubre 2015



## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>2.1 CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	7
<b>2.1.1 PANORAMA INTERNACIONAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	8
<b>2.1.2 MÉXICO COMO GENERADOR DE GASES DE EFECTO INVERNADERO</b> .....	10
<b>2.2 VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL</b> .....	12
<b>2.2.1 DEFINICIÓN DE VIVIENDA</b> .....	12
<b>2.2.2 ORIGEN DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN MÉXICO</b> .....	13
<b>2.2.3 CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA VIVIENDA EN MÉXICO</b> .....	14
<b>2.3 ENERGÍA EN LA VIVIENDA</b> .....	15
<b>2.3.1 CONCEPTOS DE ENERGÍA</b> .....	15
<b>2.3.2 PANORAMA GENERAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL EN LA VIVIENDA</b> .....	16
<b>2.3.3 SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL EN LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL MEXICANA</b> .....	18
<b>2.3.4 NORMATIVA APLICABLE A ENERGÍA Y VIVIENDA EN MÉXICO</b> .....	19
<b>2.4 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)</b> .....	20
<b>2.4.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE</b> .....	22
<b>2.4.2 DESARROLLO DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV)</b> .....	23
<b>2.4.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)</b> .....	24
<b>2.4.4 INTERPRETACIÓN</b> .....	25
<b>2.4.1 CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL ACV RELACIONADOS A LA VIVIENDA</b> .....	26
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	27
<b>3.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN VIVIENDA</b> .....	27
<b>3.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL</b> .....	28
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	33
<b>5. HIPOTESIS</b> .....	34
<b>6. OBJETIVOS</b> .....	34
<b>6.1 OBJETIVO GENERAL.-</b> .....	34
<b>6.2 OBJETIVOS PARTICULARES.-</b> .....	34



<b>7. METODOLOGÍA</b> .....	35
<b>7.1 PLAN GENERAL DE TRABAJO</b> .....	35
<b>7.2 DESARROLLO METODOLÓGICO</b> .....	36
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	51
<b>8.1 ESTUDIO DE CAMPO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA, AGUA Y GAS.</b> .....	51
<b>8.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO DE CICLO DE VIDA</b> .....	53
<b>8.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA</b> .....	54
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	62
<b>10. RECOMENDACIONES</b> .....	62
<b>11. OBJETIVOS CUMPLIDOS</b> .....	63
OBJETIVO GENERAL.- .....	63
OBJETIVOS PARTICULARES.- .....	63
<b>12. VALIDACIÓN DE HIPOTESIS</b> .....	63
<b>13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	64
<b>ANEXOS</b> .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentajes de Emisiones de carbono en países industrializados .....	8
Figura 2. Demanda Energética y emisiones de carbono en el 2020.....	9
Figura 3. Emisiones Mundiales y Nacionales de CO <sup>2</sup> .....	11
Figura 4. Consumo Energético Mundial 2010.....	16
Figura 5. Flujo de Entradas y Salidas.....	21
Figura 6. Esquema de relación entre la etapa de inventario y la evaluación de impacto.....	24
Figura 7. Ubicación Fraccionamiento Villas del Pedregal.....	36
Figura 8. Vivienda de estudio.....	37
Figura 9. Metodología del cálculo de la demanda energética diaria en la vivienda.....	39



Figura 10. Entradas y salidas de materia y energía de una vivienda.....	40
Figura 11. Ciclo de vida de la vivienda de interés social .....	41
Figura 12. Etapas y sub etapas del proceso constructivo de una casa habitación.....	42
Figura 13. Procesos que se realizan en el uso de la vivienda.....	43
Figura 14. Inventario de procesos del Software SIMA PRO.....	44
Figura 15. Formato de especificación del acero reforzado en el Software SIMA PRO..	45
Figura 16. Mezcla de producción de energías primarias en México.....	47
Figura 17. Proceso de obtención y potabilización de agua al usuario.....	48
Figura 18. Proceso de obtención y transporte del agua a la construcción.....	49
Figura 19. Descripción del Sistema de Análisis.....	50
Figura 20. Consumo diario de electricidad, agua y gas en la vivienda.....	53
Figura 21. Red de flujo en aportes de CO2.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Segmentación de la Vivienda por Costo Promedio.....	15
Tabla 2. Clasificación de Viviendas por dimensión de lote.....	15
Tabla 3. Consumo y emisiones de vivienda, anuales y por superficie.....	17
Tabla. 4. Unidad funcional del análisis.....	40
Tabla. 5. Aporte porcentual de producción de energía primaria por área.....	46
Tabla 6. Promedio de habitantes por vivienda.....	51
Tabla 7. Cantidad de aparatos electrodomésticos en la VIS y horas de uso.....	52
Tabla. 8. Aporte porcentual de cada sub etapa a la etapa de construcción.....	54
Tabla 9. Categorías de Impacto Ambiental.....	55
Tabla 10. Evaluación de las categorías de impacto de la VIS michoacana.....	56



---

Tabla 11. Evaluación de daño potencial.....	57
Tabla. 12. Impactos potenciales por etapa de ciclo de vida analizada en la vivienda...	61

## RESUMEN

El objetivo del trabajo de tesis es visualizar los costos en impacto ambiental que tendrá la vivienda de interés social durante su ciclo de vida. El caso de estudio muestra que la energía utilizada en la etapa operacional del ciclo de vida de la vivienda es la que mayor impactos causa al ambiente, por lo que el análisis indica que la reducción de estos impactos está relacionada a la manera en la que se genera la energía en nuestro país.

## ABSTRACT

The goal of this paper is to visualise the environmental impact cost during the life cycle of case study for a house in the social housing program. The case study showed that the use of energy from the operational life cycle is the responsible of the most important impact at the environment, the analysis indicates that the largest improvement potential for reducing the impacts is related to the way of producing energy in our country.

**PALABRAS CLAVE:** análisis de ciclo de vida, impacto ambiental, uso de la energía, vivienda de interés social.



## 1. INTRODUCCIÓN

El ambiente construido representa la huella más visible y perdurable que el hombre haya hecho sobre el planeta (Arena; 2013).

La vivienda suele ser el espacio donde se concentra el uso de aparatos y tecnologías de uso continuo que en su mayoría suelen ser poco amigables ambientalmente y repercuten directamente en un impacto atmosférico por la cantidad de energía consumida.

El acelerado crecimiento poblacional ha provocado un incremento importante en la demanda de viviendas de interés social en nuestro país por ser uno de los tipos de vivienda más accesible económicamente, por lo que para dar respuesta a la necesidad continua de casas habitación suelen dejarse de lado aspectos importantes en la manufactura de las mismas que impulsen a reducir el consumo energético y el impacto ambiental generado tanto en la construcción como en la etapa operacional.

Lo anterior indica la importancia de realizar estudios que analicen a la vivienda de interés social (VIS) mexicana para diagnosticar su contribución al impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. El análisis de ciclo de vida es una metodología de evaluación de impacto ambiental con la cual a partir de la cuantificación del consumo de energía y materia utilizada se obtienen valores de las emisiones asociadas a estos consumos y esto permite presentar propuestas de mejora en el sistema constructivo y diseño de este tipo de viviendas.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 CAMBIO CLIMÁTICO

En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se define como “cambio climático” a un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

El calentamiento global es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales. La vida actual en la Tierra depende, entre otros factores, de una delgada capa gaseosa: la atmósfera. Esta capa es una mezcla de gases en la que dominan el nitrógeno (78.1%) y el oxígeno (20.9%), así como pequeñas cantidades de argón (0.93%). El porcentaje restante lo constituyen el vapor de agua, ozono, bióxido de carbono, hidrógeno, neón, helio y kriptón. Entre sus funciones más importantes está el ser un filtro de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre y regular la temperatura, esto último se logra por medio de gases en la atmósfera llamados gases de efecto invernadero (GEI) que logran este efecto (SEMARNAT; 2009) éstos gases tienen un origen natural, el problema radica en que la actividad humana a derivado en una generación acelerada y masiva en las emisiones de estos gases, incrementando por ende la capa que impide que los rayos ultravioleta sean liberados de la atmósfera y logrando que una gran concentración quede atrapada.

Dado que los gases de efecto invernadero son uno de los factores más importantes para controlar la temperatura de la atmósfera, es fácil entender por qué un incremento de su concentración puede alterar el flujo natural de energía. Cualquier proceso que altere tal balance, ya sea por cambios en la radiación recibida o reemitida, o en su distribución en la Tierra, se reflejará, tarde o temprano, como cambios en el clima.

## 2.1.1 PANORAMA INTERNACIONAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

A partir de la Revolución industrial en 1750 a la fecha se ha generado un incremento considerable en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, esto como resultado de la actividad humana en la quema de combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas, aunado a la deforestación y a las actividades agrícolas. La concentración de bióxido de carbono se incrementó en un 31%, el metano en un 151% y el óxido nitroso en un 17% (IPPC; 2000).

En los últimos 20 años la incorporación de CO<sup>2</sup> a la atmósfera se debió en un 75% a la quema de combustibles fósiles, y el resto, prácticamente, a cambios de uso de suelo, en particular a la deforestación (IPPC; 2000).

Durante los últimos 100 años, los países industrializados, que albergan a 20% de la población mundial, han sido responsables de alrededor del 63% de las emisiones netas de carbono por quema de combustibles fósiles y modificaciones de uso de suelo. Estados Unidos de América y Canadá han contribuido con cerca de 25% del total, mientras que Europa ha producido aproximadamente el 21% (Fig.1). En contraste, unos 140 países en desarrollo han generado en conjunto apenas 37% de dichas emisiones (Baumert, 2005).



Fig. 1. Porcentajes de emisiones de carbono en países industrializados

Se espera que para el 2020 las naciones en desarrollo sobrepasen a las desarrolladas tanto en demanda de energía como en emisiones de carbono, dados los pronósticos de rápido crecimiento demográfico, aumento del ingreso per cápita, mejores estándares de vida y mayor industrialización. Se prevé que para el 2015 las emisiones de carbono de los países en desarrollo estén por el orden de 46% del total global y cerca de 49% en el 2020, comparadas con 42% y 39% que podrían representar las de los países desarrollados respectivamente (Porrúa; 2001) (Fig. 2).



Fig. 2. Demanda energética y emisiones de carbono en el 2020

Dadas las cifras anteriores las organizaciones internacionales han celebrado varios consejos y reuniones para consensar acuerdos en la mitigación conjunta a las emisiones de gases de efecto invernadero. Tras el informe Brundtland donde se definió el concepto de desarrollo sostenible y el cual fue la pauta para comenzar con el movimiento de conservación de recursos, se celebró en 1992 la Cumbre de Río o Cumbre de la Tierra, donde participaron 179 países y se acordaron compromisos dirigidos a alcanzar el desarrollo sostenible; a partir de esto comenzaron toda una serie de movimientos políticos y sociales como el Protocolo de Kioto en 1997 cuya finalidad fue buscar la protección de los ambientes y recursos naturales, donde los gobiernos signatarios de dichos países pactaron reducir en un 5% las emisiones de GEI entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles emitidos en 1990.



Tomando como base las ratificaciones finales dictadas ante el protocolo de Kioto en el 2012, se obtuvo como resultado que los tres países líderes en la reducción de sus emisiones de GEI fueron Estados Unidos con un 36.108%, la Unión Europea con 24.23% y la Federación Rusa con 17.4% (Hornborg; 2007) donde los Estados Unidos nunca estuvo de acuerdo con las disposiciones pactadas en dicho protocolo y sólo se limitó a entregar resultados de sus esfuerzos.

### 2.1.2 MÉXICO COMO GENERADOR DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Partiendo de datos proporcionados por la Tercera Comunicación Nacional presentada por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y el Inventario Nacional de Emisiones 1990-2002, nuestro país genera una aportación aproximadamente del 1.5% de las emisiones mundiales de GEI, con lo que obtenemos un poco más de 643 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono, posicionándonos en el lugar número 12 entre los países con mayores emisiones a escala mundial (SEMARNAT; 2009).

La contribución mexicana en las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO<sup>2</sup> equivalente en 2002 es la siguiente:

- **Energía**.....**61%**
- **Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura**.....**14%**
- **Desechos**..... **10%**
- **Procesos industriales**..... **8%**
- **Agricultura**..... **7%**

Estas cifras incluyen las emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles y producción de cemento.

Al comparar nuestros porcentajes de emisiones de GEI con el panorama mundial (Fig.3):

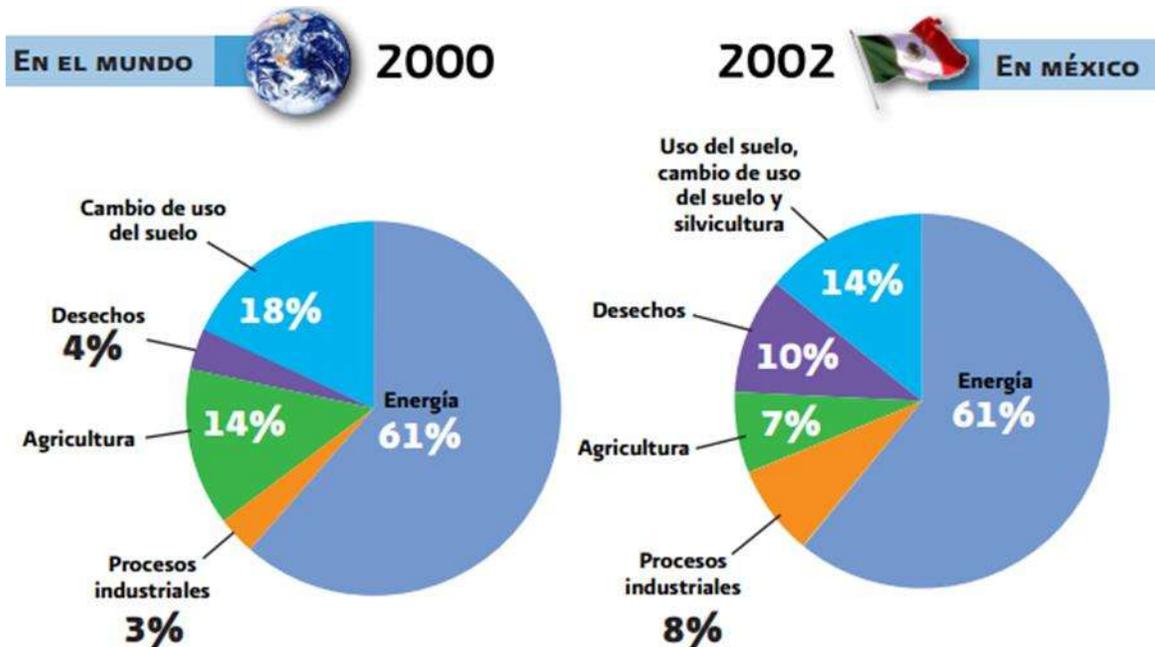


Fig. 3. Emisiones mundiales y nacionales de CO2 (SEMARNAT; 2009)

Se puede notar que el patrón de emisiones en México es muy similar al mundial dado que la principal fuente es el sector energía, seguida por el uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura.

Dentro del 61% en categoría de energía, como principal fuente de las emisiones, la contribución fue de la siguiente manera:

- Generación de energía, 24%
- Transporte, 18%
- Consumo de combustibles fósiles en la manufactura y la industria de la construcción, 8%
- Consumo en los sectores residencial, comercial y agrícola, 5%
- Emisiones fugitivas de metano, 6%

(SEMARNAT; 2009)



Por lo que los sectores que incluyen **generación de energía, manufactura e industria de la construcción, consumo residencial** y otros sectores de la energía representaron **37% del total** (SEMARNAT; 2009). Por otro lado es importante considerar el 14% de responsiva en generación de GEI que tiene la categoría de uso de suelo y cambio de uso de suelo.

Con esto se puede decir que la generación de energía y su uso en el sector constructivo en México son de las categorías con más repercusiones al ambiente por su gran aportación de GEI a la atmósfera y por ende son aquellas que se deben optimizar, por lo tanto los esfuerzos deben estar orientados a proponer estrategias de reducción en el uso de la energía.

## **2.2 VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

### **2.2.1 DEFINICIÓN DE VIVIENDA**

En cuanto a la terminología de la vivienda, a lo largo de los años se han realizado varias definiciones, sin embargo a continuación sólo se hará referencia a algunas de ellas.

La Real Academia de la Lengua Española define a la vivienda como *“lugar cerrado y cubierto construido para ser habitado por personas”*.

El Código de Edificación de Vivienda (CEV), en proceso de aplicación en México, en su apartado de Glosario de Términos define a la vivienda como al *“ámbito físico – espacial que presta el servicio para que las personas desarrollen sus funciones vitales básicas”*.

Para caso de la tesis se tomará la definición proporcionada por el CEV por considerarse la más completa.



## 2.2.2 ORIGEN DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN MÉXICO

A inicios del siglo XX a causa de la industrialización y el desarrollo del ferrocarril, empezó el crecimiento de las ciudades industrializadas de la República Mexicana. Posterior a la época de la Revolución, ese gran desplazamiento desde el campo a la ciudad generó la necesidad de dar vivienda a una población que se incrementaba rápidamente. Por lo que a principios del siglo XX las medidas legislativas y de política pública reaccionaron a la gran demanda de viviendas.

En las primeras décadas de este siglo los arquitectos apoyaron de manera activa en el diseño habitacional destinado a las clases sociales trabajadoras del país. De ésta manera, se favoreció el aumento de la población en los centros históricos de las ciudades y al mismo tiempo floreció la aparición de barrios nuevos, generados por la población trabajadora en la periferia de las ciudades. Junto a estos fenómenos apareció la vivienda pública, primero en la Ciudad de México y más tarde en otras localidades del país, cuyo diseño fue auspiciado por el Estado.

En las décadas de los 40's y 50's con la aparición de las instituciones gubernamentales encargadas de fomentar la producción de vivienda, se dio una aproximación a la problemática y a la necesidad de satisfacer con grandes cantidades de vivienda a una población creciente y carente de recursos.

En los 70's el papel del gobierno fue la promoción de fondos para la vivienda de los trabajadores. Con la creación del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), el cual se convirtió en uno de los más importantes por su capacidad de financiamiento y por la adición al ISSSTE.

Durante el gobierno del presidente Carlos Salinas de Gortari (1988-1994) se llevaron a cabo importantes modificaciones en materia de vivienda y desarrollo urbano ya que se reformaron leyes relacionadas con el suelo, dando la oportunidad a ejidatarios y comuneros de negociar sus terrenos en forma privada con agentes privados o públicos. Esto facilitó la incorporación de este tipo de suelo al desarrollo urbano, suelo que, al ser



adquirido a muy bajo precio por grandes agentes, se convirtieron en los desarrollos habitacionales alejados de las ciudades que ahora conocemos. Acorde a esto surgieron en la escena de la construcción varias empresas que se dedicaron a construir viviendas de carácter social con las mismas características físicas, ocupando las enormes extensiones de tierra.

### 2.2.3 CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA VIVIENDA EN MÉXICO

La clasificación de la vivienda en México se rige en base a los organismos del sector público que participan en la producción de la misma y la segmentan de acuerdo a distintas características, como puede ser el precio de venta, metros cuadrados de terreno y construcción y el segmento de la población a quien está destinada, entre otros.

En la Tabla 1 y Tabla 2 se presentan algunas de estas características, como la superficie de construcción promedio en m<sup>2</sup>, el costo promedio en base al salario mínimo y el número de habitaciones en la vivienda. Donde V1 representa al primer nicho con la vivienda económica, V2 se considera al siguiente nivel inmediato superior con la vivienda social y popular, mientras que V3 caracteriza al último nivel con la vivienda media y residencial.

Debido a que el objeto de estudio es la Vivienda de Interés Social (VIS) es importante definirla particularmente, describir sus características y cómo se clasifica. Este tipo de vivienda la ley Federal de Vivienda (2011) la define como: *“Aquella cuyo valor, al término de su edificación, no exceda de la suma que resulte de multiplicar por diez el salario mínimo general elevado al año, vigente en la zona de que se trate”*.

La Alianza para la Vivienda 1995-2000 actualizó esta definición ampliando su rango a quince salarios mínimos (mensuales) vigentes en el Distrito Federal elevados (multiplicados) al año. (CONAVI, 2007)

Tabla 1. Segmentación de la vivienda por costo promedio

Promedios	V1		V2		V3	
	Económica	Social	Popular	Media	Residencial	
Sup. Const. Prom. (m2)	30	45	50	100	200	
Costo Promedio (VSM)	117	180	300	780	>780	
Número de Cuartos	Baño	Baño	Baño	Baño	Baño	Baño
	Cocina	Cocina	Cocina	Cocina	Cocina	Cocina
	Usos múltiples	Estancia	Estancia	Estancia	Estancia	Estancia
		Comedor	Comedor	Comedor	Comedor	Comedor
		1 recámara	2 recámaras	3 recámaras	> 3 recámaras	

VSM - Veces Salarios Mínimos  
Fuente: Estado Actual de la Vivienda en México 2009

Tabla 2. Clasificación de viviendas por dimensión de lote

Tipo de Conjunto Habitacional	Superficie del Lote (m2)
Residencial	350-360
Interes medio	120-176
Popular	90
Interes Social o social progresivo	60-90
Turístico	
Campestre	

Fuente: Estado Actual de la Vivienda en México 2009

## 2.3 ENERGÍA EN LA VIVIENDA

### 2.3.1 CONCEPTOS DE ENERGÍA

Según la Real Academia de la Lengua Española, define Energía: *La eficacia, poder, virtud o capacidad para realizar un trabajo.*

En la física una de las definiciones que se utilizan para definir energía es: *la capacidad que posee una persona o máquina para producir, transformar o poner algo en movimiento* (Van; 2000)

Ambas definiciones son muy parecidas entre sí, por lo que se puede entender que la energía es la capacidad para realizar un trabajo o transformar algo.

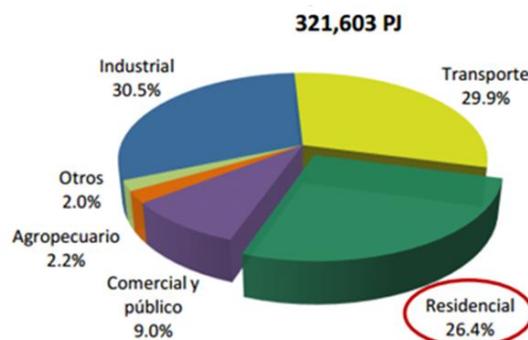


Por otra parte, el consumo energético, es el gasto total de energía para un proceso determinado (Michinel; 1993). Al hablar de energía es común pensar en combustibles y electricidad. Estas son solo algunas de las formas de energía que han sido explotadas durante muchos años. Los combustibles convencionales incluyen: petróleo, gas natural, carbón y energía nuclear, además podemos agregar el gran aprovechamiento que se tiene por parte de la energía hidroeléctrica. En el caso de los hogares, el consumo energético está integrado por el consumo de energía eléctrica, gas y biomasa, además del que se realiza con los medios de transporte particulares (automóviles, motocicletas, etc.) que se concreta en el consumo de productos derivados del petróleo (Calderón et al; 2010)

### 2.3.2 PANORAMA GENERAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL EN LA VIVIENDA

El sector residencial es el responsable de aproximadamente una cuarta parte del consumo de energía de Europa. Huber et al. (2010) lo sitúa en el 26% para el 2007. Este consumo junto al resto de edificios, mayormente del sector terciario, suman el 40% del consumo final de energía (International Energy Agency; 2010).

En las actividades económicas y productivas a nivel mundial, destacan la Industria, el transporte y el sector residencial como los tres primeros consumidores de energía, respectivamente con un 30.5%, 29.9% y 26.4% del gasto energético total. (Fig.4)



Fuente: Energy Balances of OECD countries (2010 edition) y Energy Balances of Non-OECD countries (2010 edition), AIE.

Fig. 4. Consumo energético mundial 2010



Según datos de la ONU se estima que a nivel mundial entre el sector residencial y comercial se consume el 41% de la energía disponible. Este alto consumo energético afecta directamente al ambiente, por la utilización de recursos no renovables como el petróleo, el gas y el carbón, que general altas emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (GEI). Se calcula que entre el 7 y 21.9% del total de emisiones planetarias de dióxido de carbono provienen directamente del uso de las viviendas.

Dentro de la información analizada no se ha encontrado un documento claro que refiera el consumo energético específicamente en la VIS, sin embargo sí se encuentra descrito el uso energético de la vivienda en general, el cual se suele dividir en: calefacción y climatización, agua caliente, electrodomésticos, cocina, iluminación y otros.

En el 2010 el departamento de proyectos de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Cataluña realizó un estudio donde detallan el consumo total energético de una vivienda y sus emisiones asociadas (Tabla 3).

Tabla 3. Consumo y emisiones de vivienda, anuales y por superficie. (Hernández, J.; 2010)

	Consumo [kWh]	Emisiones [kgCO <sub>2</sub> ]	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Consumo [kWh/m <sup>2</sup> ]	Emisiones [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]
MMA	12 212	1 132	93	131	12
WEC		1 300	93		14
ICAEN	8 486		90	94	
CRANA	12 213	6 100	99	123	62
Cuchí	11 837	3 059	90	132	34
Rodrigo	9 300		90	103	
INE	8 323		101	82	

En este estudio, Hernández analiza el consumo anual en KWh de 5 diferentes fuentes de datos de varias instituciones europeas sobre viviendas que varían entre los 90 a los 101



m2. En este como en otros estudios se concluye que el mayor consumo energético en las viviendas es ocasionado por el uso ineficiente de sistemas de climatización.

### **2.3.3 SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL EN LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL MEXICANA**

A diferencia de los países desarrollados, donde la adopción de medidas sustentables en la vivienda suele comenzar por la parte alta de la pirámide económica, en México los esfuerzos realizados han sido implementados fundamentalmente para promover la adopción de medidas sustentables dentro de las viviendas de interés social. La Comisión Nacional para Fomento a la Vivienda, CONAFOVI, (organismo privado no lucrativo, creado para promover acciones que induzcan y fomenten el ahorro y uso racional de la energía eléctrica), elaboró en el 2008 una guía sobre el uso eficiente de la energía en la vivienda, considerando sistemas pasivos de diseño bioclimático (masa térmica, asoleamiento, control solar, vientos entre otros). Por otra parte el Instituto Nacional de Ecología, INE (organismo público líder en la investigación ambiental aplicada) asignó consultores para realizar una valoración de las mejoras en eficiencia energética para viviendas de interés social en el norte del país.

Uno de los factores determinantes de la demanda de energía de la vivienda es el clima (temperaturas, radiación solar, humedad). Debido a las características de ubicación y del relieve de México existe una gran variedad de climas en el territorio nacional. Dos terceras partes del país se denominan áridas o semiáridas. La atención de mejoras energéticas en las regiones áridas sobre las regiones templadas radica en que estas zonas climáticas son altamente demandantes de energía para satisfacer necesidades de confort térmico y como consecuencia son las regiones más contaminantes (Fundación IDEA, 2013). Sin embargo ligado al gasto energético diario en la vivienda se obtiene que el equipamiento de aparatos electrodomésticos dentro de ella representan un alto índice del consumo total de la misma (CONAFOVI, 2006).



### 2.3.4 NORMATIVA APLICABLE A ENERGÍA Y VIVIENDA EN MÉXICO

Este apartado se concentra principalmente en tres legislaciones fundamentales de promulgación relativamente reciente: La ley de Vivienda, la ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y la Ley General de Cambio Climático.

La Ley de Vivienda (2006) establece los lineamientos regulatorios de la Política Nacional de Vivienda, así como los instrumentos y los apoyos necesarios para el desarrollo de este sector, considerando los componentes de sustentabilidad, coordinación de instituciones y relación con el sector social y privado. En el título sexto “de la calidad y sustentabilidad de la vivienda” de esta ley se establece como prioridad el propiciar que las acciones enfocadas al sector habitacional consideren la ordenación territorial y el desarrollo urbano. Asimismo, se establece en el artículo 73 que las acciones relacionadas con el suelo y vivienda financiadas con recursos federales, deberán observar los lineamientos en materia de equipamiento, infraestructura y entorno que establezca la Secretaría de Desarrollo Social en conformidad con la Ley General de Asentamientos Humanos (Fundación IDEA; 2013).

La ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (publicada el 28 de Noviembre del 2008) tiene por objetivo propiciar un aprovechamiento sustentable de la energía mediante su uso óptimo en todos sus procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo. Esta ley establece que la Secretaría de Energía (SENER) lidera las decisiones políticas en materia de eficiencia energética, mientras que la ejecución y supervisión de las medidas, proyectos y programas son responsabilidad de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). En septiembre del 2010 la CONUEE publicó el Programa de Fomento a la Certificación de Productos, Procesos y Servicios, el cual considera, entre otros, la certificación de la eficiencia energética de las viviendas.

El 5 de Junio del 2012, entró en vigor la Ley General de Cambio Climático con la cual el país se compromete a reducir las emisiones de GEI y a evitar la deforestación. Esto dio sustento a la creación de programas y acciones para dar cumplimiento a los objetivos de sustentabilidad, en el sector vivienda son los siguientes:



- Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE)  
Donde se propone implementar políticas de aprovechamiento sustentable en los usos finales de energía como iluminación, transporte, equipos del hogar, edificaciones, etc.
- Programa Sectorial de Energía (PSE)  
Elaborado por la Secretaría de Energía, establece los compromisos de las dependencias y organismos federales en materia energética. Este programa incluye las metas específicas para el 2012 en materia de ahorros en consumo y reducción de GEI, y define objetivos y acciones de eficiencia energética.
- Programa Transversal de Vivienda Sustentable (PVS)  
Su objetivo es transformar la conceptualización y las prácticas constructivas de la vivienda social en el país y de esta manera contribuir a la sustentabilidad ambiental y a mejorar la calidad de vida para los mexicanos. Considera la incorporación de energías renovables y programas de uso razonado de los recursos.

## **2.4 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)**

En base a los esfuerzos para reducir la generación acelerada de GEI se observa la necesidad de transformar los patrones de producción y consumo, de prácticas generadoras de residuos hacia prácticas cerradas y cíclicas que promuevan el ahorro de recursos e incorporación a la naturaleza (para hacer compatible el progreso con el respeto al medio ambiente), esto ha requerido de la implementación de sistemas y herramientas de gestión que formalicen métodos de trabajo para establecer mecanismos de control de los aspectos que afectan al medio ambiente, y que además aporten un nuevo enfoque en la evaluación ambiental de procesos y servicios, que sea integral y considere tanto a la producción como al consumo: el enfoque de ciclo de vida (Suppen; 2013)

La SETAC (*Society of Environmental Toxicology And Chemistry*) define el Análisis del Ciclo de Vida como: “Un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de la materia y de la energía, así como las emisiones o los vertidos al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones o vertidos, con el fin de evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de extracción y procesamiento de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento reciclado y disposición final”

Con el impulso actual hacia la construcción sustentable, el ACV ha ganado importancia como una metodología objetiva ya que tiene una base científica para evaluar el impacto ambiental de la construcción y buscar alternativas antes de que la construcción se realice (Singh et al., 2011).

En esta metodología, como en otras, se consideran dos aspectos importantes en el flujo, las entradas y salidas, las cuales pueden ser tanto de la naturaleza como de la tecnosfera.

- **Inputs/entradas:** Uso de recursos y materias primas, partes y productos, transporte, electricidad, energía, etc., que se tienen en cuenta en cada proceso o fase del sistema.
- **Outputs/salidas:** Emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que se tienen en cuenta en cada proceso o fase del sistema.

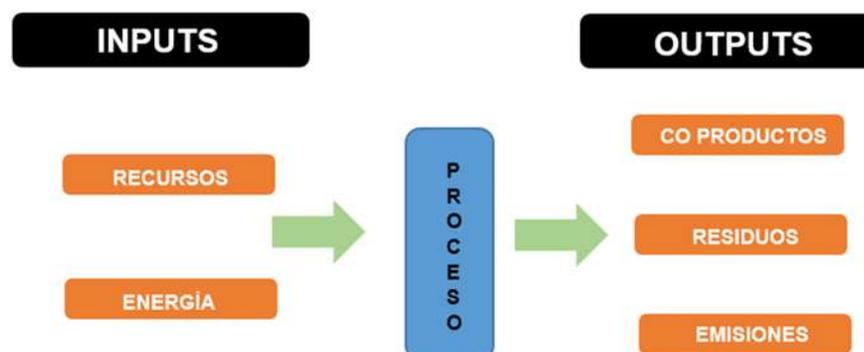


Fig. 5. Flujo de entradas y salidas



El mal uso del ACV podría mostrar resultados erróneos que no correspondieran a la realidad, simplemente tomando ciertas decisiones metodológicas inadecuadas, de manera inconsciente o intencional. Esto ha determinado la necesidad de normalizar la metodología por lo que se ha establecido por parte de ISO (*International Organization for Standardization*) un marco para la estandarización de la metodología de ACV, según la familia de **normas ISO 14040** este marco se desglosa en los siguientes pasos a seguir:

- **Definición de Objetivos y Alcance**
- **Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)**
- **Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)**
- **Interpretación**

#### **2.4.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE**

Esta primera etapa condiciona de manera importante el resto de elementos del ACV, desde las necesidades de tiempo y recursos hasta los resultados finales (Curran, 2006).

Define el objetivo y el uso previsto del estudio, así como el alcance de acuerdo con los límites del sistema, la unidad funcional y los flujos dentro del ciclo de vida, la calidad exigida a los datos, y los parámetros tecnológicos y de evaluación.

Para tener una buena demarcación sobre los objetivos y alcances del análisis en el estudio por ACV debe especificarse la Unidad Funcional y los límites del sistema. La Unidad Funcional se define como la unidad común que representa el servicio ofrecido, es la base que se utiliza para los cálculos de flujos de materia y de energía a través de un sistema, es un valor cuantificable. La Unidad Funcional debe incluir una cuantificación teniendo en cuenta la duración del servicio, así como los requerimientos de calidad. Es decir, sirve de referencia para todas las entradas y salidas del sistema que se estudia (Lechón et al., 2005).



Los límites del sistema especifican que etapas del ciclo de vida del producto será tomado en cuenta en el análisis, así como el horizonte temporal y geográfico y el nivel tecnológico. Este último aspecto determinará cuáles son las tecnologías de las que se tomarán los datos (Rúa, 2009).

#### **2.4.2 DESARROLLO DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV)**

La recopilación de datos es una de las tareas del estudio que más tiempo y recursos requiere. Es la fase del ACV en la que se recogen los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema de producto. Estos pueden ser dados en base a las emisiones de los GEI liberados a la atmósfera.

El análisis de inventario puede ser descrito como un diagrama de flujo, en el que todos los datos referidos a procesos específicos están agrupados y éstos están interconectados entre sí, creando un árbol con un número finito de procesos (Suh et al., 2004).

Los resultados que se muestran en esta etapa son un listado de entradas y salidas de energía, materias y emisiones al sistema analizado.

Es frecuente que los datos necesarios para el estudio no se encuentren con facilidad por lo que existen determinadas bases de datos para realizar los ACVs que cuentan con los datos requeridos y las cuales también deben ser especificadas en esta etapa. Las bases de datos siguen un formato estructurado en el que se describe el proceso, las entradas y salidas así como la validez geográfica, temporal y la tecnología y de esto dependerá la concordancia que tengan con el caso de estudio. Los formatos de estas bases de datos siguen con frecuencia los descritos en la norma ISO 14048.

Del mismo modo en esta etapa debe especificarse el software que será utilizado para realizar el ACV, así como los métodos de evaluación de impactos y las categorías de impacto que se utilizarán en la Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida.

### 2.4.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)

Es la fase del ACV en la que el inventario de entradas y salidas es traspasado a indicadores de potenciales impactos al medio ambiente, a la salud humana y a la disponibilidad de recursos naturales. (Fig. 6)

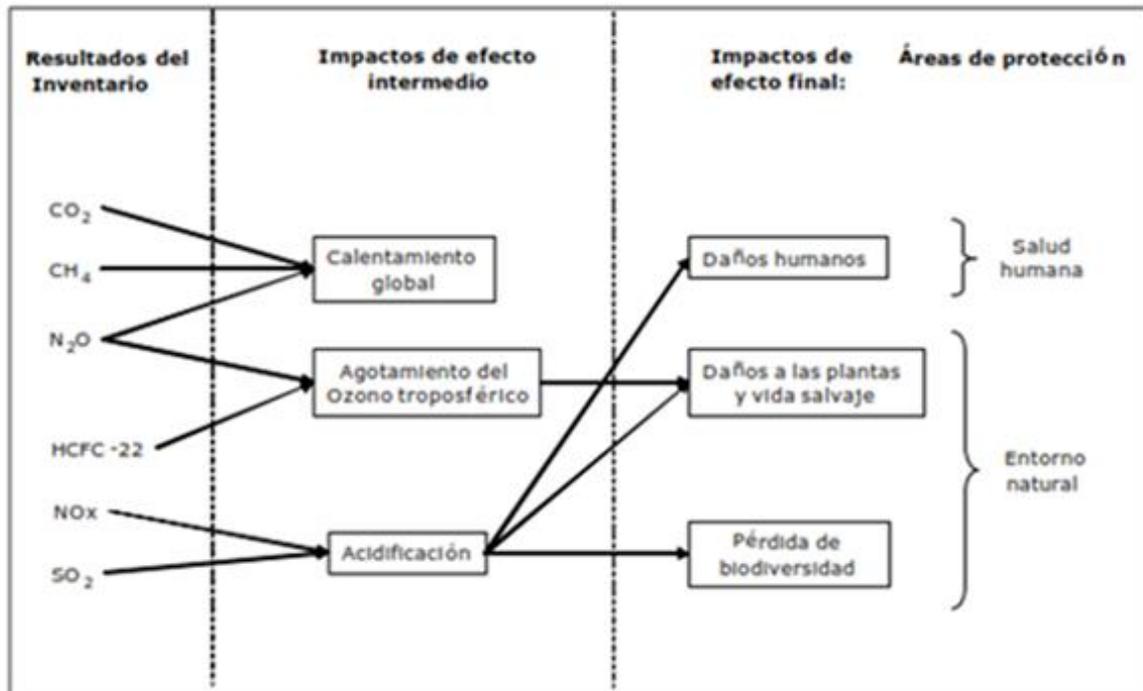


Fig. 6. Esquema de relación entre la etapa de inventario y la evaluación de impacto (Rúa; 2009)

Para realizar este traspaso de los datos recabados a los potenciales impactos que se generan por el producto estudiado la mayoría de los investigadores se apoyan en un software que traspase y cuantifique estos datos. Uno de los softwares más utilizados en México para ACVs en vivienda es el SIMA PRO.

El Software SIMA PRO cuenta con todo un juego de datos que cubre más de 2,500 procesos, básicos y de sistema. Los procesos básicos contienen datos de emisiones, el input de los recursos y las referencias al input de otros procesos para la creación de un material o producto, los procesos de sistema se muestran como una caja negra donde se marca el resultado de un ACV completo sobre el material o producto. Al realizar el análisis



los resultados finales no son influenciados en manera significativa si llegara a utilizarse un proceso básico o de sistema, la diferencia radica en el detalle que se quiera presentar en la información a utilizar, se recomienda recurrir a procesos de sistema para trabajos que sean revisiones y a procesos básicos cuando sean ACVs completos.

Existe un gran número de métodos de impacto aplicables a los ACV. La elección del método más apropiado para el estudio debe estar condicionada al objetivo y alcance del mismo así como a la audiencia a la que va dirigido.

Para el análisis de la presente tesis se prefirió utilizar el método Eco- indicador 99 el cual es el más utilizado en América Latina por el tipo de “endpoints” o impactos finales que maneja en sus categorías de impacto ya que es de los indicadores más completos.

- METODO DE IMPACTO ECO INDICADOR 99:  
Es la actualización del anterior método Eco-indicator 95 y se basa en el modelo del daño (Goedkoop and Spriensma, 2001). Tiene en cuenta tres tipos de daños medioambientales para impactos de efecto final o “endpoints”:
  - Daños a la salud humana: se expresan en DALY (Disability Adjusted Life Years- años de vida con pérdida de salud) y tienen en cuenta alteraciones respiratorias y efectos cancerígenos entre otros.
  - Daños al ecosistema: se expresan en el porcentaje de especies que han desaparecido en un área en concreto debido a impactos ambientales.
  - Recursos: el daño a los recursos indica la calidad de los recursos fósiles y minerales que están todavía sin explotar.

#### 2.4.4 INTERPRETACIÓN

Es la fase del ACV en la que los resultados del ICV y el EICV son interpretados de acuerdo al objetivo y alcance marcados inicialmente. En esta fase se realiza un análisis de los resultados y se marcan las conclusiones.



De manera opcional pueden ser utilizadas otras etapas en el sistema, las cuales son **normalización** y **ponderación** las cuales ya están más ligadas a una decisión subjetiva del investigador dado que se basan en situaciones locales del producto en estudio.

Por otro lado es importante notificar algunas limitaciones que tiene el ACV. Algunos de los principales problemas derivan de la etapa de definición del objetivo y alcance. Como se ha mencionado anteriormente, en esta etapa es necesario definir correctamente términos como la unidad funcional, los límites del sistema y las reglas de asignación que se utilizarán, entre otros. La importancia de la variabilidad de los datos y su influencia en los resultados finales se ha analizado en pocos estudios (Coulon et al., 1997) a pesar de existir herramientas que facilitan esta tarea.

Otra limitación de esta metodología es que el ACV da un tratamiento lineal a los datos y resultados, de modo que analizar un aumento de producción dos veces mayor al actual tendrá el doble de impacto. Sin embargo, los procesos industriales, por ejemplo, no suelen seguir esta linealidad en sus producciones, por lo que cuando se produzca un análisis donde al paso de los años suceda un incremento en la producción deberá realizarse nuevamente el ACV con los nuevos datos.

La producción y uso de bienes y servicios genera, además de impactos medioambientales, impactos económicos y sociales que debieran ser considerados al analizar estos productos. Este tipo de impactos se pueden analizar por medio de un ACV input-output.

#### **2.4.1 CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL ACV RELACIONADOS A LA VIVIENDA**

En base a estudios de ACV realizados en Suecia, España y Holanda se ha definido que las categorías más comunes de afecciones al medio provocadas por la vivienda en su etapa de uso y construcción son:

- **Consumo de Recursos:** Relaciones del tipo reserva/consumo
- **Calentamiento Global:** kg equivalentes de CO<sub>2</sub>



- **Acidificación:** En equivalentes ácidos, o bien como equivalentes de SO<sub>2</sub>
- **Eutrofización:** Equivalentes de O<sub>2</sub>
- **Toxicidad:** Se diferencia entre ecotoxicológicos (o permanentes) y toxicológicos humanos.

Las categorías seleccionadas para cada ACV dependen de una serie de factores tales como los objetivos del estudio, la región geográfica, o el momento histórico en el que se lleva a cabo el estudio. La selección de categorías a incluir está condicionada por las decisiones tomadas en las primeras fases del estudio (definición de objetivos).

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN VIVIENDA

Aplicar un ACV para la vivienda es un trabajo delicado. Esto a causa de las diferentes variedades, como se observó en apartados anteriores, además dependiendo de la calidad de los materiales utilizados, el uso de vida puede ir por más de los 50 años con un buen mantenimiento (Gustavsson, 2008), durante este tiempo la vivienda puede estar sujeta a cambios en su forma, incluso en algunos casos a su función. Mohamad (2009) comenta que en el estudio de ACV una de las razones por las que es difícil hacer el análisis es por la diferencia de límites y metas definidas. Por lo que en el apartado de objetivos y alcances, debe describirse al mayor detalle posible la vivienda que se vaya a analizar, deben tomarse en cuenta factores importantes como la ubicación geográfica, el sistema constructivo, los metros cuadrados construidos y las etapas del ciclo de vida que serán sometidas al análisis. Se debe ser realmente minucioso en estas especificaciones ya que cada vivienda tiene su propio ciclo de vida, y por ende esto afectará en el resultado de emisiones a la atmósfera e impactos ambientales relacionados.



Dado lo extenso que puede llegar a ser un ACV los desarrolladores de las bases de datos para esta metodología las fijan en 4 categorías, bases de datos públicas, académicas, comerciales e industriales (Gustavsson, 2008). Esto es importante en el hecho de que de acuerdo a la base de datos escogida el inventario varía de una fuente a otra en muchos sentidos, en el hecho de cómo se analiza la energía de un país a otro, o en la producción de ciertos productos, especificaciones, diferencias en la manufactura y las actividades económicas inherentes a cada región de estudio. Por lo tanto en la etapa del desarrollo del inventario deben escogerse muy bien las bases de datos a utilizar ya que de esto dependerán por su parte los resultados finales del estudio.

### **3.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

En cuanto a vivienda de interés social se refiere, son pocos los casos de estudio con análisis de ciclo de vida, la mayor parte de los estudiosos en el tema tiende a realizar primero ACV sobre los materiales de construcción, esto con el fin de ir generando sus propias bases de datos específicas a la zona geográfica de estudio. Sin embargo esto no se contrapone con la factibilidad de poder realizar un adecuado análisis en vivienda utilizando bases de datos existentes y adecuándolas a las necesidades específicas del proyecto.

Uno de los pocos estudios realizados fue llevado a cabo por parte del gobierno de Brasil en el año 2010 el cual impulsó el análisis de la sustentabilidad de la vivienda de interés social brasileña en base a un ACV para visualizar el impacto ambiental generado en base al consumo energético de la vivienda. El caso práctico presentado analizó todo el ciclo de vida de la casa, construcción, uso y demolición, centrando primordialmente el análisis en la etapa de construcción y uso (Silva, 2013). Se tenía como objetivo primordial que el resultado del análisis de éste programa en específico fuera comparado con otros estudios internacionales para comprobar si se obtenía un mayor o menor significado en el uso de la energía en un contexto internacional.



Se realizaron alrededor de 4,000 encuestas a nivel nacional para conocer el consumo energético en el hogar y se demostró que este es proporcional al ingreso económico de cada familia, al tamaño de la casa (metros cuadrados construidos) y al número de personas que habitan la vivienda.

En la etapa final del estudio se ponderaron y normalizaron los respectivos datos de consumo energético y equivalentes en CO<sub>2</sub>, donde se concluyó que mejorando los sistemas de producción en los materiales de construcción se contrarrestaba el gasto de energía incorporada al momento del mantenimiento, ya que en el caso particular de este estudio, esta se consideró la falla principal del impacto ambiental de la vivienda brasileña. (Silva, 2013)

En cuanto al panorama en México se hizo una compilación de los estudios de ACV realizados en el país en el libro “Análisis de ciclo de vida y ecodiseño para la construcción en México” donde participaron el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, la facultad del Hábitat, entre otros. Dentro de los casos discutidos de mayor relevancia para efectos de la presente tesis se encuentran:

- **IMPACTO AMBIENTAL EN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

(Dr. Investigador José Escalante, Saltillo)

En este trabajo se plantea que en términos de emisiones ambientales y costo económico el concreto es en general más amigable que otros materiales usados en la construcción de edificaciones e infraestructura, como el acero, aluminio, vidrio, polímeros, e incluso tabiques, sin embargo por las grandes cantidades utilizadas en la construcción suele ser de los mayores responsables en el impacto ambiental, por otro lado en cuanto a términos de consumo de energía, el acero requiere 35 veces más energía que el concreto.



- **HUELLA DE CARBONO DE TRES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE MURO USADOS EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

(Maestro en Arquitectura Víctor Arvizu, Colima)

Esta investigación tuvo como objetivo principal identificar los impactos ambientales del ciclo de vida completo de tres diferentes tipos de muros utilizados para la construcción de la vivienda de interés social en Colima (tabique de barro recocido, tabicón sólido de cemento y block hueco de cemento), tomando en cuenta tecnologías, procedimientos y materiales aplicados. El comparativo se dio en base a la cantidad emitida de CO<sub>2</sub> de cada sistema. La conclusión que se obtuvo de este análisis fue que el mayor aporte a la huella de carbono asociada al ciclo de vida de los tres tipos de muro corresponde a la fase de ocupación de la vivienda, dado que por las condiciones climatológicas del lugar se hace necesaria la utilización del apoyo de tecnologías de confort térmico como el aire acondicionado, siendo de estos sistemas la opción más recomendable el ladrillo de barro recocido por su proceso de fabricación y sus propiedades térmicas, en segundo lugar quedó el tabicón sólido de cemento y al último el block hueco de cemento por la necesidad de hacer uso del acero en su proceso de fabricación y su pobre resistencia térmica.

- **ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN CIUDADES COSTERAS**

(Dr. Ing. José Domínguez, Instituto Tecnológico de Chetumal)

En este proyecto se utilizó el ACV para desarrollar un estudio comparativo de dos tipos de vivienda de interés social, una de muro de bloque y cubierta de vigueta y bovedilla; y otra de concreto monolítico. El estudio incluyó la construcción y el uso de la vivienda. Para la etapa de uso se contempló el consumo de energía eléctrica y el mantenimiento mínimo de la vivienda (pintura anual). Se determinó que durante la etapa de construcción, la vivienda de muro de block es la que más emisiones produce, derivado de la utilización del cemento en sus etapas del proceso de construcción. Mientras que durante la etapa de uso, la vivienda de concreto monolítico contribuye en mayor cantidad de emisiones al ambiente por el mayor consumo de energía



eléctrica al tener una pésima resistencia térmica lo cual es altamente afectado por la situación climatológica del lugar.

- **ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN MÉXICO**

(Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable, DF)

En este trabajo se tuvo como objetivo analizar mediante el ACV viviendas de interés social mexicanas construidas con diferentes técnicas, materiales y en diversos lugares, para determinar la contribución de emisiones nocivas al ambiente en cada una de sus etapas del ciclo de vida, el cual contempla la extracción de materia prima para fabricar los materiales de construcción, el transporte de estos hacia el lugar de construcción, la edificación de la vivienda, el uso de la misma, la demolición, el transporte de residuos de construcción y su disposición final. Las viviendas analizadas fueron del Distrito Federal, Puebla y Mexicali, los sistemas constructivos analizados fueron muros de block, tabique y concreto; y techos de concreto y vigueta y bovedilla. Se obtuvo como resultado que la contribución al impacto ambiental de cada fase del ciclo de vida fueron de mayor a menor importancia: uso, obtención de materiales, fin de vida, transporte y construcción. El impacto ambiental en la fase de uso se debe al consumo de energía eléctrica utilizada para la climatización de la vivienda.

De los casos citados anteriormente se puede concluir lo siguiente:

- **El mayor impacto ambiental se da en la etapa de uso por el consumo energético utilizado en la climatización de la vivienda.**

Sin embargo tomando en cuenta que el caso de estudio de esta tesis está ubicado en la ciudad de Morelia, los sistemas de climatización no son aplicables dado el clima templado de la ciudad.



- **Otro de los mayores impactos ambientales se genera en la etapa de la manufactura de los materiales para la construcción.**

El tipo de sistema constructivo utilizado en el caso de estudio de esta tesis es el concreto monolítico y la manufactura del cemento crea importantes repercusiones al ambiente por la gran cantidad de energía empleada y las emisiones que genera a la atmósfera. La producción de Cemento Portland (cemento utilizado en la constitución del concreto) requiere 4900 MJ/t, equivalente a aproximadamente 180 kg de carbón para alcanzar 1450 °C en el horno y otras operaciones de procesamiento. Considerando también las reacciones de descarbonatación del clínquer (materia de la que se genera el cemento) que son de 0.53 kg CO<sub>2</sub>/kg (Damtoft, et. Al., 2008) en total se tiran a la atmósfera 0.83 – 1.0 ton CO<sub>2</sub>/ton de Cemento Portland (Naciones Unidas, 2012)

Por lo tanto se pretende que el presente trabajo de tesis realice el ACV de este caso en particular de la vivienda de interés social Moreliana en el que los apoyos de climatización no son necesarios como los presentados en los otros casos de estudio, aparte de utilizar un sistema constructivo donde la extracción de los materiales principales tiene un alto consumo energético, y donde también es importante mencionar que la ubicación de la vivienda de estudio dista bastante de los lugares de acceso a los materiales de construcción, por lo que el gasto de diésel de los camiones utilizados para llevar el material al lugar de construcción o el transporte de los residuos a su disposición final debe tomarse muy en cuenta por las importantes emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan a partir de la quema del combustible.

Es por esto que haciendo una revisión bibliográfica no hay ningún caso de estudio realizado con anterioridad donde se desarrollen datos que indiquen el impacto ambiental generado a partir del consumo de materia y energía en el ciclo de vida de una vivienda con estas características particulares, donde se establece una vivienda de interés social en Morelia de concreto monolítico de una sola planta con 40.10 mts<sup>2</sup> construidos, con una vida útil de 50 años, donde no se utilizan apoyos de climatización.



Los datos que se pretenden generar con este análisis serían importantes para diagnosticar el desempeño energético y ambiental de este tipo de vivienda creada por una de las empresas constructoras más importantes del país en el campo de la vivienda de interés social.

## 4. JUSTIFICACIÓN

Dado que la Vivienda de Interés Social es actualmente uno de los nichos constructivos de más demanda en México y el que actualmente demuestra el mayor déficit en la calidad constructiva, diseño, uso de materiales y habitabilidad es importante diagnosticar su desempeño energético y generar propuestas para su mejora.

El consumo de energía y materia utilizados durante todo el ciclo de vida en la vivienda se ve directamente reflejado en las emisiones de GEI a la atmósfera. Es por esto que mediante un Análisis de Ciclo de Vida de la vivienda de interés social en Morelia se pueden identificar las partes del sistema que pueden ser perfeccionadas para reducir las emisiones nocivas.



## 5. HIPOTESIS

En el caso específico de la vivienda de interés social de concreto monolítico de una sola planta con 40.10 mts<sup>2</sup> construidos, con una vida útil de 50 años, donde no se utilizan apoyos de climatización, en Morelia, la fase de extracción de la materia prima es la que tendrá una mayor contribución de impacto ambiental en comparación con las demás fases del ciclo de vida por la cantidad de acero y cemento requerido.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1 OBJETIVO GENERAL.-

Reconocer los materiales o fases del Ciclo de Vida de la vivienda de interés social Moreliana que deban optimizarse o reemplazarse para generar un menor impacto ambiental.

### 6.2 OBJETIVOS PARTICULARES.-

- Examinar el uso de la energía incorporada y operacional en la etapa de construcción de la Vivienda de Interés Social.
- Examinar el uso de la energía incorporada y operacional en la etapa de uso de la Vivienda de Interés Social.
- Analizar el impacto ambiental que genera la vivienda de interés social Moreliana en la etapa de uso y construcción.



## 7. METODOLOGÍA

### 7.1 PLAN GENERAL DE TRABAJO

Se dividió en fases y actividades, como se puede ver a continuación.

#### **FASE 1. IDENTIFICAR LAS ÁREAS DE ESTUDIO A ANALIZAR**

- Actividad 1: Selección de la Vivienda de Interés Social a estudiar
- Actividad 2: Elaboración de encuestas aplicables a estudio de consumo energético, agua y gas por vivienda.
- Actividad 3: Obtención de datos de demanda de luz, agua y gas

#### **FASE 2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

Para poder realizar un adecuado análisis del consumo energético y materia utilizada durante el ciclo de vida de la vivienda, en esta fase se realizará la metodología basada en las etapas marcadas por la normativa ISO para realizar este tipo de análisis.

- Actividad 4: Definición de objetivo y alcance
- Actividad 5: Análisis de Inventario de Ciclo de Vida
- Actividad 6: Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida

#### **FASE 3. REPORTE DE RESULTADOS**

- Redacción de conclusiones y resultados



- **Criterios de selección de la vivienda de estudio:**

Dentro de las diferentes tipologías de vivienda que maneja la constructora se eligió aquella que cumple con las especificaciones que marca la CONAVI para vivienda de interés social: 45 m<sup>2</sup> máximos de construcción, baño, cocina, estancia, comedor y una recámara (Fig.8) además las viviendas que fueron analizadas debían contar con el diseño original aportado por la constructora, no se tomaron en cuenta aquellas viviendas que ya habían sido modificadas, ampliadas o con un uso distinto al de casa habitación.



Fig. 8. Vivienda de estudio (Grupo HERSO)



**Actividad 2.** Elaboración de encuestas aplicables a estudio de consumo energético, agua y gas por vivienda.

Se buscó la manera de acceder a los datos de demanda de agua y energía de la vivienda por parte de las instituciones correspondientes, OOAPAS y CFE, sin embargo dado que se requería conocer el consumo específico en una sola tipología de vivienda dentro del fraccionamiento de estudio, se procedió a elaborar una encuesta donde se determinara el uso de aparatos electrodomésticos de uso común, así como el tiempo de uso de los mismos (Anexo I). La encuesta se aplicó a cien viviendas que contaran con el criterio de selección previo.

Dentro de la encuesta también se tomó registro de la capacidad de los cilindros de gas por vivienda y el tiempo en que cada familia debía hacer una nueva recarga, además se realizaron levantamientos periódicos de datos de los registros de agua y luz. Por último también se preguntó el número de habitantes por vivienda.

**Actividad 3.** Obtención de datos de demanda de luz, agua y gas

Es importante mencionar que los datos recabados que se muestran en este apartado fueron generados en junio 2014 a enero del 2015.

En el caso de la demanda de energía eléctrica y consumo de agua, se tomó en cada vivienda un primer levantamiento marcado en ese momento en ambos registros en el mes de junio, para llevar control sobre el análisis se anotó la dirección y el número de la vivienda. En el mes de septiembre se regresó a cada casa para volver a tomar los datos del registro que ya marcaba en ese momento. Este procedimiento se realizó además en los meses de noviembre a enero para con los datos recabados poder generar un promedio del consumo por vivienda al año.

La lectura de los registros se llevó de la siguiente manera: se hizo la visita a las viviendas y en cada una se realizaba una primer lectura, en la primer lectura realizada en junio la vivienda registraba, por ejemplo, un consumo de 3,955 KWh, en septiembre se realizó una segunda visita donde la lectura ya marcaba 4372 KWh consumidos. Por lo tanto la demanda energética que hubo en una de las viviendas durante esos meses fue de 417

KWh, esta cantidad se dividió entre los 108 días que pasaron entre el primer y el segundo conteo, dando un resultado de 3.861 KWh consumidos al día. La metodología se resume en la Fig. 9.



Fig. 9. Metodología del cálculo de la demanda energética diaria en la vivienda

Este procedimiento se realizó para las cien viviendas encuestadas también en los meses de noviembre a enero para generar un promedio del consumo diario en la vivienda al año tomando en cuenta la temporada más cálida y la más fría.

La misma dinámica se realizó con los medidores de agua, se tomó un primer conteo, se regresó a los tres meses para tomar el segundo conteo y con esto sacar el consumo de agua que hubo en la vivienda al día, para después con los datos recabados de las cien viviendas generar un promedio de consumo diario.

En el caso del gas, la capacidad de los tanques instalados en la vivienda es de 30 kg, y lo que se hizo fue preguntar a la familia cada cuanto tiempo tenían que realizar una recarga del tanque, con esto se pudo cuantificar el consumo de gas LP diario por vivienda.

#### **Actividad 4.** Definición de objetivos y alcances del análisis de ciclo de vida

Se especificó como unidad funcional del análisis:

Tabla. 4. Unidad funcional del análisis

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN
<b>VIVIENDA INTERÉS SOCIAL</b>	Vivienda con un sistema constructivo de concreto monolítico de una sola planta con 40.10 m <sup>2</sup> construidos en su etapa de construcción y uso	50 años de vida útil

Los “límites del sistema” es la demarcación entre lo que se incluye y lo que se excluye del análisis en el estudio. En la Fig. 10 se muestran de manera general las entradas y salidas en el ciclo de vida de una vivienda.



Fig.10. Entradas y salidas de materia y energía de una vivienda

En este caso como límites del análisis se especificaron los siguientes puntos, se tomaron en cuenta como entradas:

- Demanda energética (kWh) en la etapa de uso de la vivienda
- Demanda energética (kWh) en la etapa de construcción de la vivienda.
- Consumo de agua y gas por vivienda
- Materiales utilizados para la construcción de la vivienda

Y como salidas solo se tomaron en cuenta las emisiones atmosféricas. No se incluyeron salidas de aguas residuales ni de residuos sólidos por la falta de información específica al caso de estudio.

### Actividad 5. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida

En esta etapa se cuantifican todas las entradas y salidas del ciclo de vida de la vivienda: las cantidades de materia prima y energía (ISO 14040, 2006).

En la Fig. 11 se muestra el ciclo de vida de la vivienda, como se ha mencionado anteriormente, en éste análisis las etapas del ciclo de vida que se tomaron en cuenta fueron principalmente la etapa de construcción y uso, la etapa de producción y extracción de la materia prima solo se tomó en cuenta porque ya existían bases de datos referentes.



Fig.11. Ciclo de vida de la vivienda de interés social

### SECCION 1. ETAPAS DEL CICLO DE VIDA INCLUIDAS EN EL ANÁLISIS.

- **Extracción de materia prima para fabricar los materiales de construcción:**

Aquí es importante tomar en cuenta que la materia prima con que se fabrican los materiales de construcción suelen ser en su mayoría arena, grava, agua, clinker,

acero, polímeros, entre otros; de los cuales ya se han realizado varios estudios de ACV en particular y por lo tanto los datos necesarios de generación de GEI ya tienen bases de datos existentes.

- **Construcción de la vivienda:**

En esta fase se toman en cuenta los insumos utilizados durante la construcción y estos fueron proporcionados por la empresa constructora. El proceso de construcción de una casa habitación tiene diferentes etapas, la división esquemática de estas queda sujeta a la administración subjetiva del constructor o responsable del proyecto, sin embargo en general suelen dividirse en tres etapas principales, las cuales tienen sus propias sub etapas como se representa en la Fig. 12.

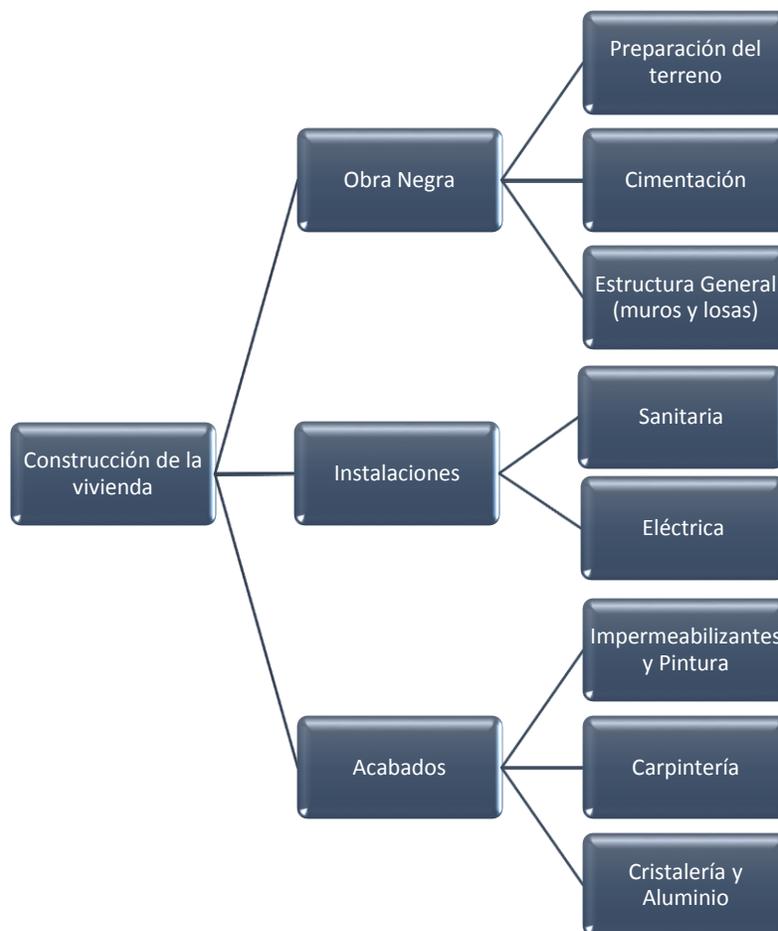


Fig.12. Etapas y sub etapas del proceso constructivo de una casa habitación

Los materiales usados en la construcción se enlistaron de acuerdo a cada etapa. Por lo que al tener categorizada la lista de insumos esto permite tener un mayor control sobre el análisis y posteriormente se puede identificar de mejor manera los impactos ambientales en el ciclo de vida de la vivienda.

Es importante mencionar que solo se tomaron en cuenta los materiales y la maquinaria utilizada en la construcción (Anexo II), otros elementos como la herramienta no fue considerada dado que ésta puede ser utilizada en varias construcciones y de distinto tipo por lo que no es posible delimitar con precisión su aporte cuantitativo a este proyecto.

Una vez teniendo el inventario separado en etapas del ciclo de vida, se procede a especificar la cantidad (kg) que se utiliza de cada material en la construcción, los datos fueron proporcionados por la empresa.

### Uso de la vivienda:

En esta etapa se tomó en cuenta el consumo eléctrico de los aparatos electrodomésticos, así como del consumo de agua y gas, además del mantenimiento mínimo de la vivienda (gasto de pintura anual y de impermeabilizante cada 5 años) Fig. 13.

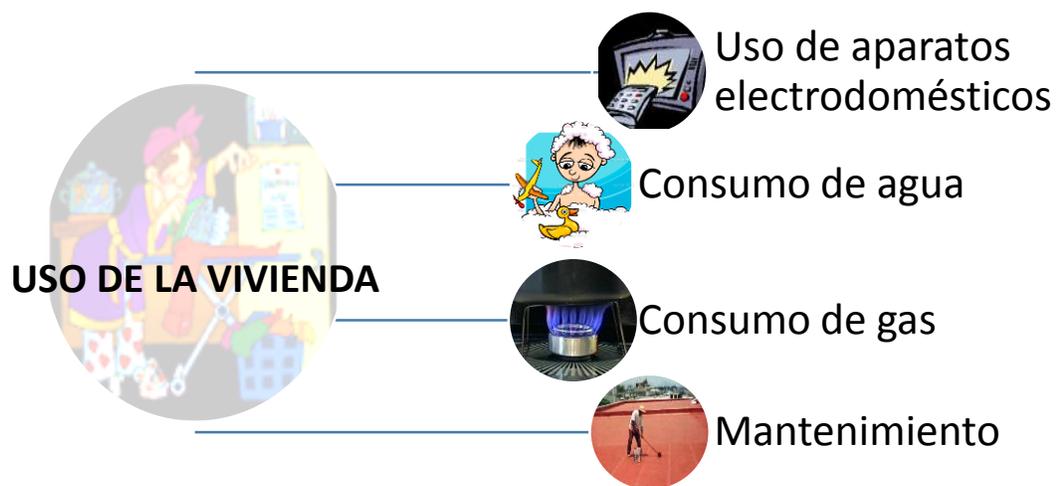


Fig.13. Procesos que se realizan en el uso de la vivienda

## SECCIÓN 2. USO DE LAS BASES DE DATOS EN EL SOFTWARE.

Las bases de datos del SIMA PRO están clasificadas en distintas categorías de procesos:

- Materiales
- Energía
- Transporte
- Transformaciones
- Uso
- Escenario de Residuo
- Tratamiento de Residuo

Dentro de estas categorías se encuentran desglosadas otras subcategorías, en la Fig. 14 se muestra la lista de categorías y sub categorías como la presenta el software. De acuerdo a esta lista de clasificación se pueden identificar los insumos del proyecto que se van a utilizar en el análisis, por ejemplo, dentro de la categoría de materiales podemos escoger la sub categoría de “metales” y dentro de esta se encuentra el acero reforzado, entre otros metales.

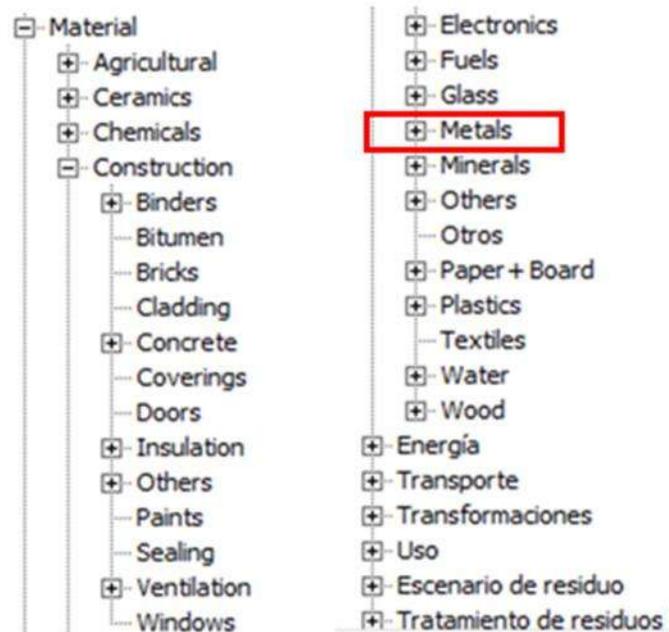


Fig.14. Inventario de procesos del Software SIMA PRO

Se pueden observar los detalles de cada material como se muestra en la Fig. 15, este es el formato que maneja el software, este formato permite desglosar las entradas que

proviene de la naturaleza, entradas y salidas a la tecnósfera, así como la cantidad de material y energía utilizada para la creación del material.

En este espacio se especifica la cantidad de material a crear

Nombre	Cantidad	Ud.	Cantidad
Reinforcing steel, at plant/RER U Tesis	1	kg	Mass
(Insertar línea aquí)			

Nombre	Cantidad	Ud.	Distribución
Hot rolling, steel/RER U	1	kg	Reg. normal
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	0.63	kg	Reg. normal
Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U	0.37	kg	Reg. normal
(Insertar línea aquí)			

Fig. 15. Formato de especificación del acero reforzado en el Software SIMA PRO

Estos datos provienen de la base de datos ECOINVENT, sin embargo cada material fue examinado para reconocer aquellos que contaran con las propiedades y sistema de fabricación que concordara con las fichas técnicas de los proveedores mexicanos.

En el caso de la llave compuerta roscable 1/2", el registro de 60x40 cm, el centro de carga, el lavadero y el tinaco, no se tenían registros en las bases de datos sobre emisiones atmosféricas generadas en base a su proceso de fabricación, por lo que se tuvo que investigar en sus respectivas fichas técnicas de los proveedores en internet sobre la



fabricación del material para poder generar los datos de emisiones de GEI en base al proceso de fabricación y material utilizado.

En el caso del consumo eléctrico se procedió a crear de manera general el proceso de producción energética en nuestro país, se tomaron los datos proporcionados en el Balance Nacional de Energía 2011 (SENER, 2011), donde especifican el aporte porcentual de cada área en la producción de energía primaria, donde:

Tabla. 5. Aporte porcentual de producción de energía primaria por área.

ÁREA DE PRODUCCIÓN	APORTE PORCENTUAL
Carbón	3.17
Nuclear	1.16
Gas Natural	23.04
Fotovoltaica	0.06
Hidroeléctrica	1.42
Eólica	0.06
Biogás	0.02
Caña de Azúcar	0.99
Madera	2.81
Petróleo	65.65
Geotérmica	1.62

Estas cifras se implementaron en el formato de edición del proceso de producción energética que marca el software (Fig. 16). Este proceso se modeló utilizando la base de datos ECOINVENT v2.0 para sistemas de producción energética de cada área, en el caso de la energía nuclear, carbón, gas natural, hidroeléctrica, fotovoltaica y geotérmica se utilizaron datos de los sistemas estadounidenses, en el caso de la energía eólica y biogás agrícola se tomaron datos suizos y en el caso de la energía por caña de azúcar los datos fueron brasileños. Se escogieron estos datos en concreto por ser aquellos donde sus análisis específicos de emisiones atmosféricas contenían información detallada de cada sistema de producción.

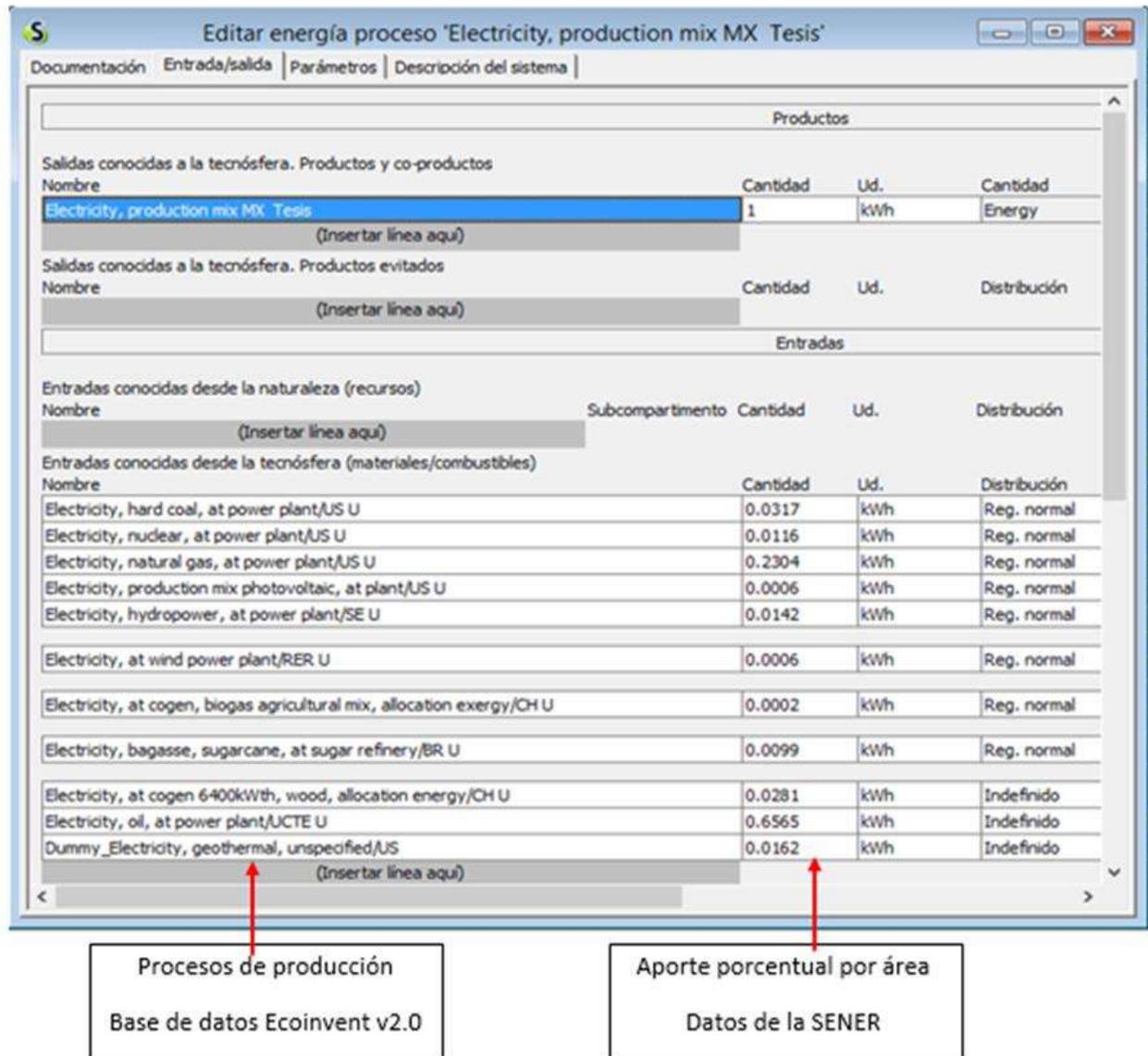


Fig. 16. Mezcla de producción de energías primarias en México

En el caso del agua consumida en la etapa de uso del ciclo de vida de la vivienda, el procedimiento para generar los datos mexicanos fue parecido al energético realizado anteriormente. La Red del OOAPAS se abastece de manantiales, ríos y lagos, con un proceso previo de potabilización del agua en sus plantas para distribuir el agua al usuario. Se creó el modelado del proceso en primer lugar utilizando los porcentajes de entrada por agua de ríos, lagos y mantos subterráneos, estos datos se tomaron de publicaciones realizadas por la SEMARNAT (SEMARNAT; 2009), en segundo lugar se integró al modelado el proceso de potabilización del agua que maneja el OOAPAS en Morelia

(floculación, sedimentación, filtración y cloración) en este caso dentro de las bases de datos de análisis de ciclo de vida realizados a este tipo de sistemas de potabilización sólo se contaban con análisis realizados en Suiza, por lo que al crear el modelo en el formato de edición del proceso de distribución del agua que marca el software quedó integrado como se observa en la Fig. 17.

The screenshot shows a software window titled 'Editar Material proceso 'Water, at user/CH U Tesis''. It contains several data tables and sections:

- Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos):** A table with columns: Nombre, Subcompartimento, Cantidad, Ud., and Distribución. It lists 'Water, river', 'Water, lake', and 'Water, well, in ground' with their respective quantities and units.
- Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles):** A table with columns: Nombre, Cantidad, Ud., and Distribución. It lists 'Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U Tesis', 'Chlorine, liquid, production mix, at plant/RER U', 'Hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant/RER U', and 'Aluminium sulphate, powder, at plant/RER U'.
- Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor):** A section with a 'Nombre' and 'Cantidad' column, currently empty.
- Emisiones al aire:** A section with 'Nombre', 'Subcompartimento', and 'Cantidad' columns, currently empty.
- Emisiones al agua:** A table with columns: Nombre, Subcompartimento, Cantidad, Ud., and Distribución. It lists 'Aluminium', 'Chlorine', and 'Chloride' with their respective quantities and units.

Two callout boxes provide context:

- A box at the top right points to the 'Entradas conocidas desde la naturaleza' table, stating: 'Entradas de agua por área de abastecimiento SEMARNAT 2009'.
- A box on the right side points to the 'Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)' table, stating: 'Componentes químicos que integran los procesos de potabilización del agua. Con bases de datos Suizas'.

Fig. 17. Proceso de obtención y potabilización de agua al usuario

Con el agua utilizada para la construcción de la vivienda el modelado fue más sencillo dado que el suministro de agua para la construcción se realiza por medio de pipas que se abastecen por medio de manantiales cercanos a la ciudad los cuales no tienen ningún

tipo de tratamiento previo para su uso. Por lo que al crear el modelo en el formato de edición del proceso de distribución del agua que marca el software quedó integrado como se observa en la Fig. 18.

The screenshot shows a software window titled "Editar Material proceso 'Water, at construction/CH U Tesis'". It has a menu bar with "Documentación", "Entrada/salida", "Parámetros", and "Descripción del sistema". The main area is divided into sections for "Productos", "Entradas", and "Salidas".

**Productos**

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos			
Nombre	Cantidad	Ud.	Cantidad
Water, at construction/CH U Tesis	1	kg	Mass
(Insertar línea aquí)			

**Entradas**

Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)				
Nombre	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución
Water, unspecified natural origin, MX	in water	0.001	m3	Reg. normal
(Insertar línea aquí)				
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)				
Nombre	Cantidad	Ud.	Distribución	
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U Tesis	0.00042889	kWh	Reg. normal	
Pump station/CH/I U	0.0000000000	p	Reg. normal	
Water storage/CH/I U	0.0000000000	p	Reg. normal	
Water works/CH/I U	0.0000000000	p	Reg. normal	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0.0000014813	tkm	Reg. normal	
(Insertar línea aquí)				

Fig. 18. Proceso de obtención y transporte del agua a la construcción

### SECCIÓN 3. VACIADO DEL INVENTARIO DE DATOS EN EL SOFTWARE.

Una vez que se reconocieron cada uno de los insumos en las bases de datos y se hicieron las adaptaciones pertinentes, se procede a realizar el vaciado de las cantidades de la demanda energética, consumo de agua, consumo de gas utilizados en la etapa de uso en el ciclo de vida de la vivienda y peso (kg) de material en la etapa de construcción correspondientes que se generaron en el inventario previamente realizado.

## Actividad 6. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida

En esta etapa se clasifica y caracterizan los resultados del análisis del inventario para cuantificar su efecto en impactos ambientales potenciales. Una vez habiendo realizado el vaciado de datos obtenidos en el inventario en el software, este lo traduce en categorías de impacto dependiendo del tipo de daño que provoca cada entrada. Para esto en el proyecto se hizo uso del Ecoindicador (H) para realizar los cálculos.



Fig. 19. Descripción del Sistema de Análisis



La figura anterior muestra de manera general como se desglosan las etapas tomadas en cuenta en el análisis para en base a ellas obtener los resultados de emisiones de GEI calculadas en el software y definir el impacto final al ambiente que genera la etapa de construcción y uso de la VIS.

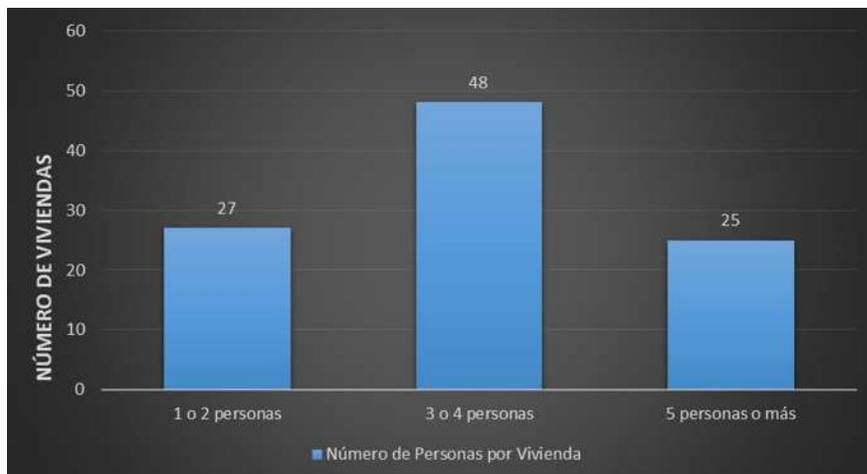
## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo de éste trabajo de tesis fue reconocer los materiales o fases del Ciclo de Vida de la vivienda de interés social Moreliana que debieran optimizarse o reemplazarse para generar un menor impacto ambiental, de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

### 8.1 ESTUDIO DE CAMPO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA, AGUA Y GAS.

Para poder tener una interpretación directa sobre el cómo y porqué del consumo energético en la vivienda de estudio, se realizaron una serie de preguntas a los propietarios donde se pidió especificaran el tipo de aparatos que tenían de uso diario así como el promedio de habitantes por hogar. La encuesta generó los resultados mostrados en la Tabla 6:

Tabla. 6. Promedio de habitantes por vivienda





De la tabla anterior se puede observar que de cien viviendas encuestadas, en cuarenta y ocho habitan de tres a cuatro personas. Si tomamos en cuenta los parámetros del Índice de Calidad Global de la Vivienda (2013) se consideraría que esta vivienda cuenta con hacinamiento medio (2.5 a 5 personas por dormitorio) y veinticinco viviendas entrarían en el parámetro de hacinamiento crítico (de 5 a más personas por dormitorio). Estos resultados concuerdan con los reportados en el caso de estudio de ACV en vivienda de interés social presentado por el Gobierno de Brasil donde el número de habitantes promedio por vivienda era de 3.3. Por lo tanto tomando en cuenta la cantidad de personas, es importante conocer el promedio de aparatos electrónicos requeridos para resolver las necesidades de la familia (Tabla 7).

Tabla. 7. Cantidad de Aparatos en la VIS y horas de uso

ELECTRODOMÉSTICO	CANTIDAD DE APARATOS EN 100 VIVIENDAS ENCUESTADAS			HORAS DE USO A LA SEMANA
	CHICO	MED	GRANDE	
REFRIGERADOR	14	40	39	168
TV CRT	28	48	22	+20
TV PANTALLA	12	14	8	+20
LAVADORA	26	26	11	5
SECADORA		9		4
MICROONDAS	17	21	6	3
PLANCHA		90		1
VENTILADOR		28		5
COMPUTADORA		14		10

Es interesante hacer notar que a diferencia de los ACVs realizados por CADIS y Dominguez (2013) la vivienda estudiada no cuenta con sistemas de climatización,

solamente en 28 viviendas se hace uso de ventiladores y por periodos de tiempo muy cortos, por lo que el consumo energético se da principalmente por el uso de aparatos como el refrigerador y televisores.

Con base a lo anterior se hizo un levantamiento de datos de los registros de luz en los meses de Junio-Septiembre y Noviembre-Enero para poder generar un promedio del consumo diario generado por vivienda. De igual manera se tomaron los datos en el consumo de agua y gas. Resultando en lo siguiente:



Fig. 20. Consumo diario de electricidad, agua y gas en la vivienda

## 8.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO DE CICLO DE VIDA

Siendo la etapa de construcción aquella categoría que más *inputs* contenía era necesario realizar una clasificación de los insumos en sub etapas que ayudaran a identificar los posibles impactos ambientales generados por cada una. Por otra parte se quiso conocer el aporte porcentual en masa que brindaba cada sub etapa al peso total de la vivienda al momento de realizar el análisis para observar si en futuros ACVs podía prescindirse de analizar la totalidad de las etapas en la construcción y solo tomar en cuenta aquellas que representaban más peso o los materiales más abundantes en ella. Sin embargo como comenta Stephan (2011) en sus investigaciones, un material que aporta poco peso en masa a la construcción puede ser muy nocivo medioambientalmente, es por esto que en este estudio se analizaron todos los materiales en la lista de insumos para poder observar y analizar de mejor manera este efecto. Obteniendo como resultado el que muestra la Tabla 8:



Tabla. 8. Aporte porcentual de cada sub etapa a la etapa de construcción.

SUB ETAPA	APORTE EN kg	% (p/p)
OBRA NEGRA	62,730.88	95.73
ACABADOS	2,254.90	3.44
INST. HIDROSANITARIA	509.35	0.78
INST. ELÉCTRICA	26.56	0.05

Donde la obra negra contiene materiales como arena y grava que aportan un gran peso en masa a la obra sin embargo sus sistemas de extracción y fabricación no generan un gran impacto ambiental, mientras que por otro lado dentro de esta sub etapa también se encuentran el acero y el cemento, los cuales Escalante (2013) menciona como altamente nocivos. Por otro lado, la instalación eléctrica e hidrosanitaria podrían parecer despreciables en el estudio dado que no alcanzan ni el 1% de aporte en masa a la construcción sin embargo estas etapas manejan principalmente el uso de termoplásticos en sus componentes de los cuales su proceso de manufactura maneja altos estándares de impacto ambiental.

### 8.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

En esta etapa del ACV el inventario de entradas y salidas es traspasado a indicadores de potenciales impactos ambientales al medio ambiente, a la salud humana y a la disponibilidad de recursos naturales.

En la tabla 9 se describen de manera breve las categorías de impacto donde afecta el ciclo de vida de la vivienda del caso de estudio y la agrupación de las mismas según el tipo de daño que provocan.

Al correr el análisis (Tabla 10), se obtuvo como resultado que la etapa de construcción (representada en color rojo) tiene un alto porcentaje de impacto en carcinogénesis, radiación, ecotoxicidad, uso de suelo y minerales, mientras que la etapa de uso (representada en color verde) tuvo un alto impacto en efectos respiratorios, cambio



climático, reducción de la capa de ozono, acidificación, eutrofización y consumo de combustibles fósiles. Con esto, englobando las categorías de impacto, el daño potencial final se daría principalmente en el sector de consumo de recursos por parte de la etapa de uso y por parte de la etapa de construcción en daños a la calidad del ecosistema (Tabla 11), estos resultados coinciden a los reportados por CADIS (2013).

Tabla 9. Categorías de Impacto Ambiental. Fuente CADIS

Daño	Impacto ambiental potencial	Descripción
<b>Salud</b>	Carcinogénesis	Es la transformación de células normales en células cancerosas, debido al contacto con sustancias cancerígenas.
	Efectos respiratorios	Son daños relacionados con problemas respiratorios debido a la inhalación de partículas y polvo.
	Calentamiento global	Es el daño causado por la alteración de la temperatura atmosférica, la cual deriva en enfermedades infecciosas, cardiovasculares y respiratorias.
	Radiación	Toma en cuenta las emisiones rutinarias de material radioactivo al medioambiente, las cuales provocan cáncer.
	Reducción de la capa de Ozono	Es el incremento de la radiación ultravioleta en la Tierra, lo cual causa daños a la vista y cáncer.
<b>Ecosistema</b>	Ecotoxicidad	Es el porcentaje de especies presentes en el medioambiente viviendo bajo tensión tóxica.
	Acidificación y Eutrofización	Generación de lluvia ácida, la cual produce cambios en las características químicas de suelos y aguas superficiales, afectando a los seres vivos y bienes materiales.  Contaminación de cuerpos de agua debido a un aumento anormal y excesivo de nutrientes.
	Uso de Suelo	Se toma en cuenta el daño local y regional en el terreno transformado para la realización de actividades económicas.
<b>Recursos</b>	Consumo de Combustibles fósiles	Es la disminución de las reservas de crudo, gas natural, etc.
	Reducción de Recursos Minerales	Es la transformación de células normales en células cancerosas, debido al contacto con sustancias cancerígenas.

En la figura 21 se muestra una red de flujo donde se detalla el aporte que tuvo cada etapa del ciclo de vida, para conocer que parte del ciclo de vida debería modificarse o perfeccionarse para disminuir el impacto ambiental generado.



Tabla 10. Evaluación de las categorías de impacto de la VIS michoacana

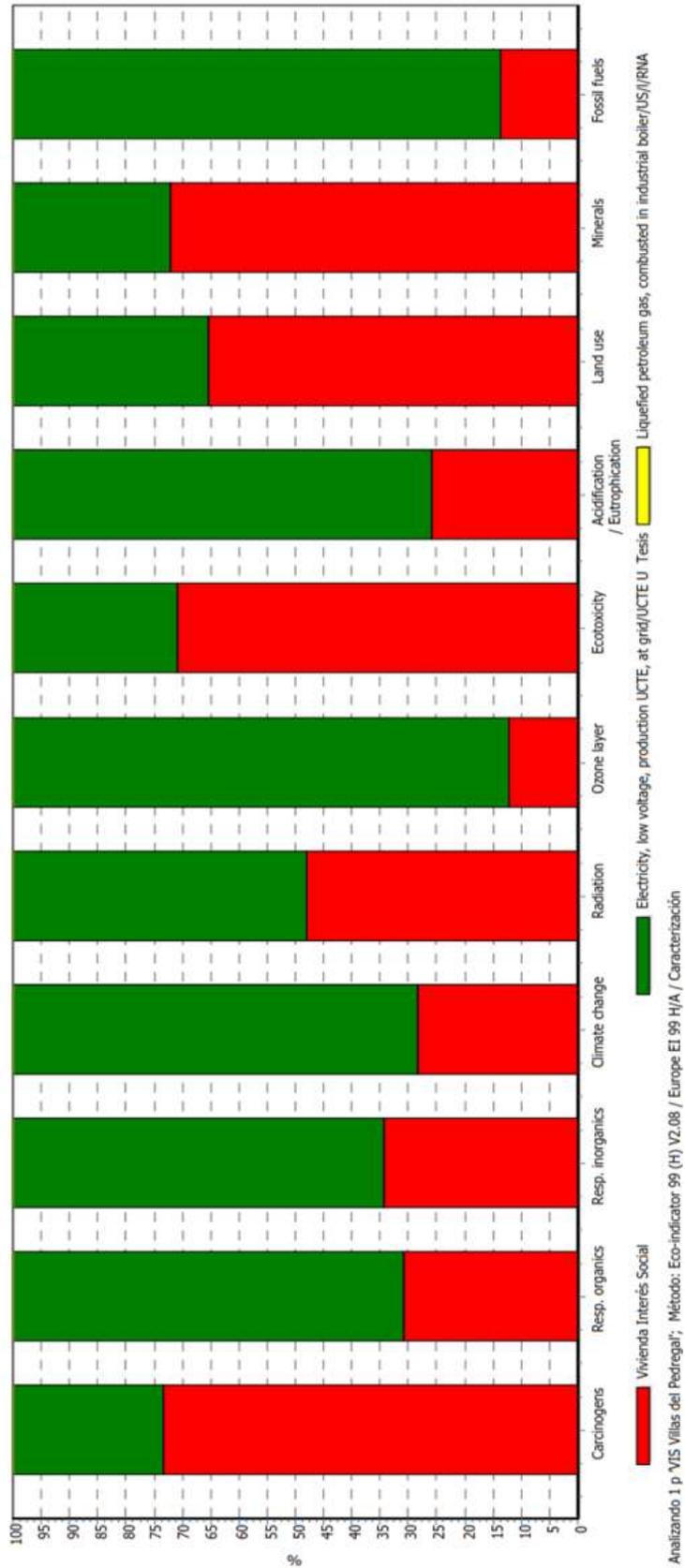
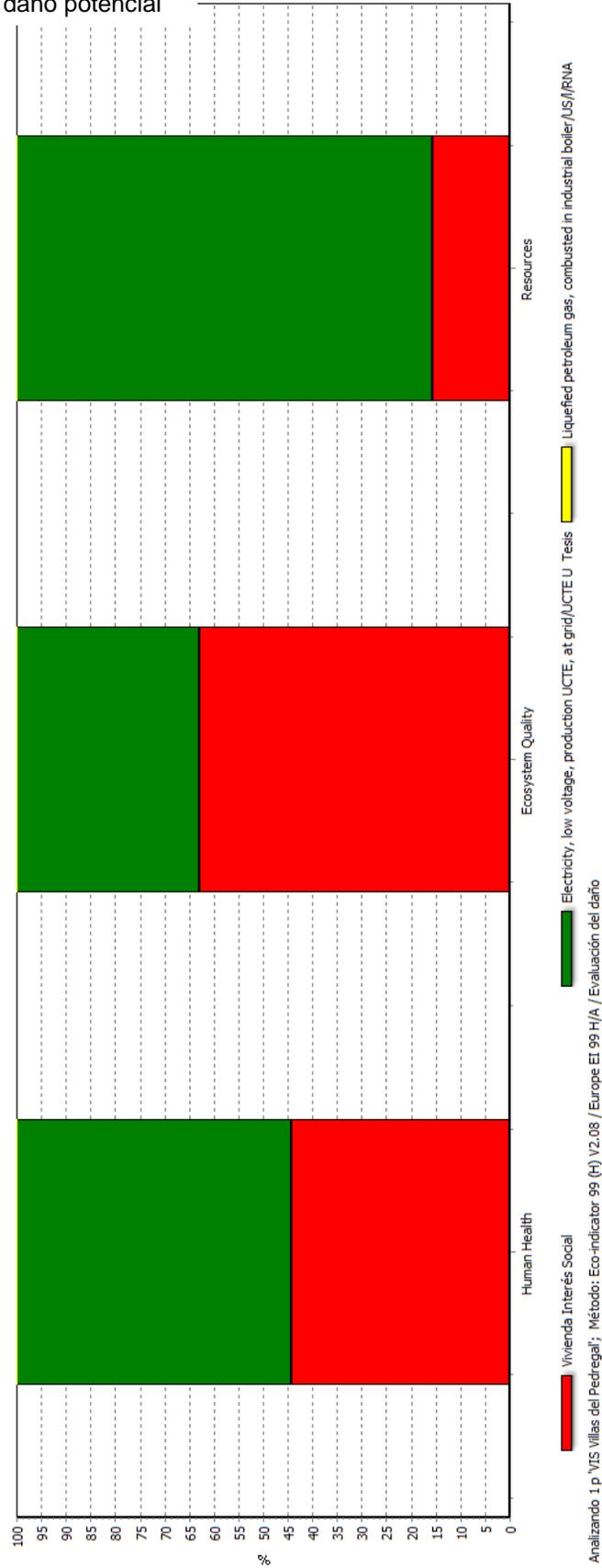




Tabla 11. Evaluación de daño potencial



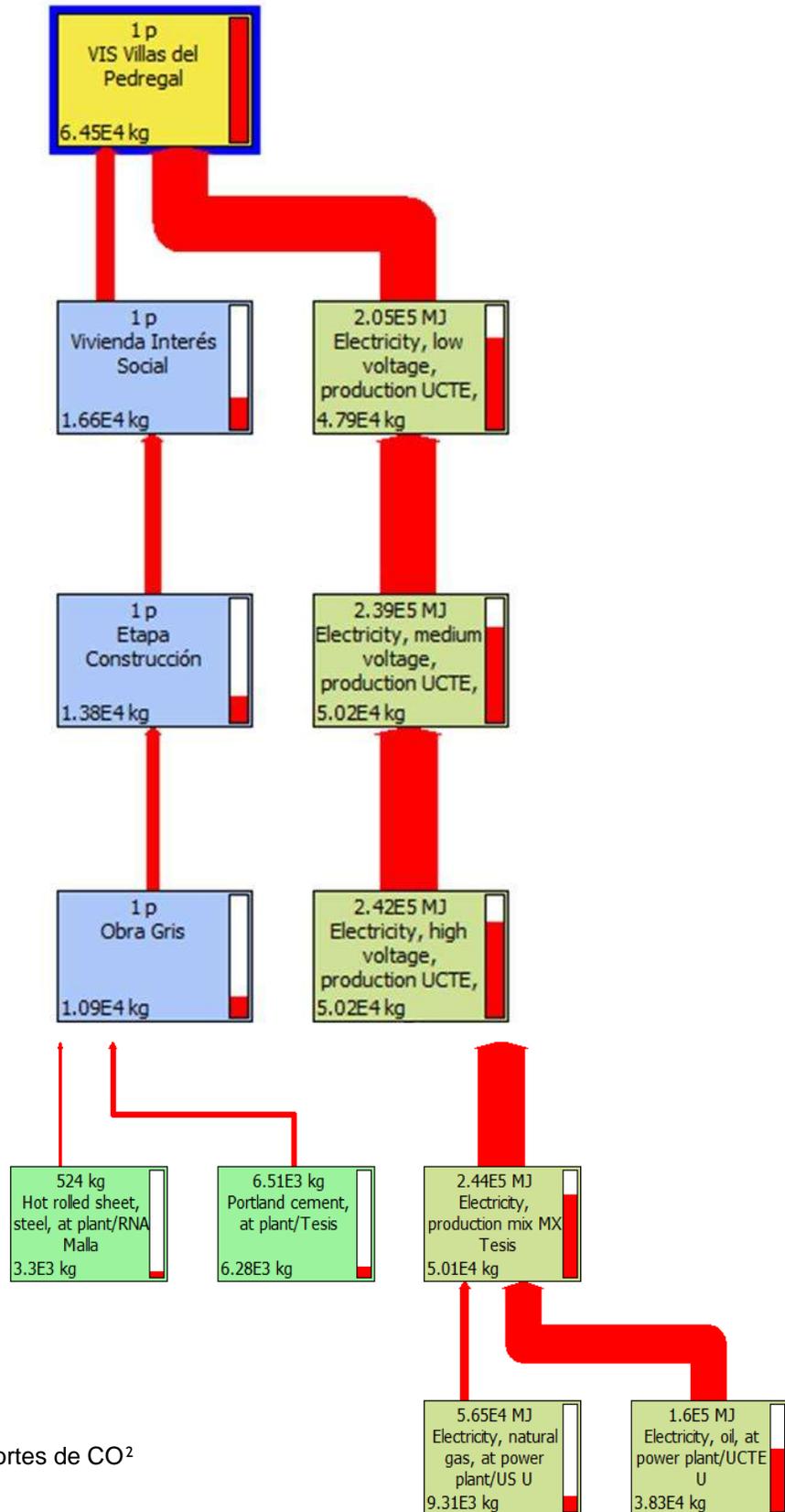


Fig.21. Red de flujo en aportes de CO<sub>2</sub>



La figura anterior muestra que el mayor aporte de impacto ambiental proviene por parte del consumo eléctrico de la vivienda, con una contribución del 74.26% con 47900 kg de CO<sup>2</sup> donde la energía producida por barriles de petróleo es la principal causante de la problemática ambiental en este caso. Mientras que por otro lado la etapa de construcción tuvo una contribución del 25.74% con 16600 kg de CO<sup>2</sup>, ya que la obra gris fue la de mayor aporte por el tipo de sistema constructivo donde se utilizan como materiales principales el acero y el cemento, este dato es de real interés dado que en estudios anteriores realizados por CADIS y Escalante (2013) a viviendas de interés social mexicanas, la etapa de uso era la que generaba un mayor impacto ambiental por el uso de sistemas de climatización los cuales consumían una gran cantidad de energía, la CONUEE (2010) registra que las viviendas que cuentan con aire acondicionado destinan el 44% de su demanda energética a estos aparatos, mientras que viviendas que no cuentan con aire acondicionado el 40% de su demanda energética se debe a la iluminación del hogar, sin embargo en este caso de estudio los sistemas de climatización no son necesarios por el tipo de clima, templado sub húmedo, que tiene la ciudad de Morelia, aparte el sistema constructivo con el que cuenta esta vivienda permite un confort térmico aceptable por contar con paneles de poliestireno ahogados en los muros. Por otro lado los resultados obtenidos no distan mucho a los reportados por Adalberth (1997) a viviendas sociales en Suecia donde aproximadamente el 85% del impacto era aportado por la etapa de uso y un 15% en la etapa de manufactura de los materiales, es importante recordar que los estándares de vivienda social en Suecia son distintos en cuanto a metros cuadrados construidos y calidad de los materiales, sin embargo con esto se sigue mostrando una tendencia donde los mayores impactos siguen reportándose en la etapa de uso. Cabe destacar que en la última década Suecia ha sido de los países que más ha invertido en energías renovables por lo que los resultados mostrados por Adalberth en el 97 podrían ser distintos si se realizara un nuevo ACV, con esto cabría suponer que es imprescindible dejar de lado la producción energética a base de energía fósil, que sigue siendo el principal sector de producción energética en nuestro país e incursionar más en las energías renovables.

Con relación a lo anterior se puede decir que Michoacán es el segundo estado a nivel nacional en cuanto a generación de energía geotérmica y de los 3,612,742.409 MWhr



generados en el 2014 en el estado, la mayor parte fue producida por sus plantas hidroeléctricas, donde la más grande es la de Infiernillo. En las bases de datos de la Comisión Reguladora de Energía de la SENER no se cuenta con la cantidad exacta del aporte porcentual que genera cada una de estas plantas para cubrir la demanda energética exclusiva del estado ya que todo el sistema eléctrico nacional se encuentra interconectado y la energía ahí generada no solo se consume en Michoacán. Se puede hacer la suposición en base a datos proporcionados por la SENER (2011) que de la energía que demanda el estado el aporte porcentual de la energía generada de las plantas hidroeléctricas en Michoacán pudiera ser de un 60% y de un 40% por parte de las plantas geotérmicas. Si se parte de ésta suposición, sería interesante realizar un estudio donde se investigue este aporte específico para poder realizar trabajos posteriores de ACV donde se tome como referente este marco energético a nivel estatal, por el momento los resultados que se generaron en este trabajo de tesis marcan que el mayor impacto se debe a la generación de energía a partir de combustible fósil con un marco nacional.

Con respecto a la etapa de construcción, en base al 25.74% de aporte de impacto ambiental generado en esta etapa, el cemento portland y el acero reforzado fueron la principal causa, tal y como lo maneja Escalante (2013) en sus análisis, por lo que al igual que el caso de estudio en Brasil sería importante mejorar los sistemas de producción en los materiales de construcción o inclusive cambiarlos por aquellos más sustentables como lo propone Arvizu (2013) para contrarrestar el gasto de energía incorporada en su manufactura.

Tomando en cuenta los resultados de impactos ambientales potenciales que arrojó el estudio (Tabla 12):

- En la etapa de construcción:

Las entradas fueron de materiales y energía. Donde sobresalieron el uso de:

- Cemento: por su aporte de impacto ambiental en su manufactura
- Acero: por su aporte de impacto ambiental en su manufactura
- Arena y Grava: por su aporte en peso
- Agua en pipa: por su aporte en peso



Con esto se puede deducir que por parte del cemento y el acero su proceso de manufactura es aquel que representa el impacto ambiental potencial, ecotoxicidad y reducción en la capa de ozono, en las zonas en donde se fabrica, que en este caso con el cemento se generaría principalmente en los estados de Hidalgo y Aguascalientes que es donde se fabrica el cemento utilizado en la construcción de éstas viviendas en el estudio, mientras que con el acero se daría en el puerto de Lázaro Cárdenas o en las siderúrgicas de Guanajuato. Mientras que con la arena y grava ya se genera un impacto a nivel local, impacto en uso de suelo y minerales, dado que provienen del banco en Joyitas, y con el agua utilizada en la construcción, esta proviene por medio de pipas que se abastecen del manantial de la Mintzita con lo cual también se genera un impacto potencial a nivel local.

Tabla. 12. Impactos potenciales por etapa de ciclo de vida analizada en la vivienda.

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	ETAPA DE USO
Carcinogénesis	Efectos Respiratorios
Radiación	Cambio Climático
Ecotoxicidad	Reducción de la capa de ozono
Uso de suelo y Minerales	Acidificación
	Eutrofización
	Consumo de combustibles fósiles

- En la etapa de uso:

Las entradas fueron demanda energética, agua y gas en la vivienda. Donde sobresalió el uso de la energía, por lo que los impactos ambientales potenciales registrados están relacionados con los procesos de generación de energía utilizados en el país (combustibles fósiles, carbón, gas natural, etc.) los cuales sus efectos se darán en las zonas de su propia generación. Sin embargo se registran impactos ambientales potenciales como reducción en la capa de ozono y cambio climático que tienen efectos a nivel global y no solo local.



## 9. CONCLUSIONES

- Dentro de las dos etapas analizadas en la vivienda de interés social michoacana, etapa de construcción y uso, se obtuvo como resultado que el consumo energético durante la etapa de uso de la vivienda es quien genera el mayor aporte de impacto ambiental. por lo que se concluye que el sistema de producción de energía empleado en México es la mayor problemática ambiental.
- La etapa de construcción se divide en diferentes fases constructivas, que vendrían siendo la obra gris, instalación hidrosanitaria, instalación eléctrica y acabados, dentro de estas fases la obra gris fue quien generó un mayor aporte de impacto ambiental por el importante consumo de cemento dado que el tipo de sistema constructivo utilizado es de concreto monolítico. Por lo que se recomendaría a la constructora regresar al uso de materiales tradicionales como el tabique ya que en base a otros estudios realizados de ACV es de los más amigables en términos ambientales.

## 10. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de investigación sobre la generación de energía del estado y definir cuanta de la energía generada se utiliza en Michoacán para poder realizar análisis más exactos a la situación local.
- Realizar análisis de ciclo de vida de los materiales de construcción para generar bases de datos mexicanas o preferentemente michoacanas para no tener que recurrir a bases de datos internacionales.
- Para estudios posteriores, realizar análisis de la generación de residuos sólidos y aguas residuales en el ciclo de vida de la vivienda para investigar su contribución positiva o negativa al ambiente.



## 11. OBJETIVOS CUMPLIDOS

### OBJETIVO GENERAL.-

Reconocer los materiales o fases del Ciclo de Vida de la vivienda de interés social Moreliana que deban optimizarse o reemplazarse para generar un menor impacto ambiental.

**CUMPLIDO**

### OBJETIVOS PARTICULARES.-

- Examinar el uso de la energía incorporada y operacional en la etapa de construcción de la Vivienda de Interés Social. **CUMPLIDO**
- Examinar el uso de la energía incorporada y operacional en la etapa de uso de la Vivienda de Interés Social. **CUMPLIDO**
- Analizar el impacto ambiental que genera la vivienda de interés social Moreliana en la etapa de uso y construcción. **CUMPLIDO**

## 12. VALIDACIÓN DE HIPOTESIS

En el caso específico de la vivienda de interés social de concreto monolítico de una sola planta con 40.10 mts<sup>2</sup> construidos, con una vida útil de 50 años, donde no se utilizan apoyos de climatización, en Morelia, la fase de extracción de la materia prima es la que tendrá una mayor contribución de impacto ambiental en comparación con las demás fases del ciclo de vida por la cantidad de acero y cemento requerido.

**VALIDA PARCIALMENTE**

Parcialmente dado que el mayor impacto ambiental se generó en la etapa de uso, sin embargo efectivamente el uso del cemento en la etapa de construcción aparece como segundo responsable en los impactos ambientales de la vivienda del caso de estudio.



## 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adalberth, K.** 1997. Energy use during the life-cycle of single-unit dwellings: examples. Build Environ. **32**: 321- 329.
- Arena, Pablo.** 2013 Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la Construcción en México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Editora Nydia Suppen, CADIS. Primera Edición. México.
- Arendal, UNEP/GRID.** 2005. Introduction to climate change: Planets and atmospheres. "Vital Climate Change Graphics". Arendal Publication. Consultado en: [climateark.org/vital/02.htm](http://climateark.org/vital/02.htm). Consultado en Diciembre 2013
- Baumert-Kevin A., Kete Nancy.** 2005. Climate Evolution World Resources Institute. Unite States
- Código de Edificación de Vivienda (CEV).** 2013. CONAVI. Segunda Edición. México.
- Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI).** 2006. Guía para el Uso Eficiente de la Energía en la Vivienda. Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Federal de Electricidad. Fideicomiso para el Ahorro de Energía. Luz y Fuerza de México. Asociación de Empresas para el Ahorro de la Energía en la Edificación, A.C. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ingeniería UNAM. México.
- Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI).** 2007. Desarrollo Habitacional Sustentable, Comisión Nacional de Vivienda, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México.
- Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.** 1992. Párrafo 2. Consultado en: [unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf). Consultado en: Diciembre 2013.
- Calderón, Roberto. Arredondo, J.** 2010. Reducción del Consumo Eléctrico y CO2 mediante sistemas de ahorro y aislamiento en la vivienda económica de Mexicali, B.C. Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la Construcción en México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Editora Nydia Suppen, CADIS. Primera Edición. México. Pp. 53-55.



- Corral, Sánchez.** 2009. La Vivienda Social en México. Sistema Nacional de Creadores de Arte. Javier Sanchez Arquitectos. 1a Edición. México.
- Coulon, R., V. Camobreco, H. Teulon, J. Besnainou,** 1997, Data quality and uncertainty in LCI: International Journal of Life Cycle Assessment, **2**: 178-182.
- Curran, M.,** 2006, Life Cycle Assessment: Principles and Practice, National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development U.S., Environmental Protection Agency. Ohio.
- Diccionario de la Lengua Española.** 2014. Vigésimo tercera edición.
- Fundación IDEA.** 2013. Estrategia Nacional para vivienda sustentable. Componente Ambiental de la Sustentabilidad.
- Goedkoop, M.,** and R. Spriensma, 2001, the Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report: Amersfoort, Pré Consultants.
- Gustavsson, Leif; A. Joelsson.** 2010. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. Energy and Buildings. **42**: 210-220
- Hernández, J.** 2010. Consumo energético y emisiones asociadas del sector residencial. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Herri-Baltzua.** 2009. Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono. Departamento de Medio Ambiente, Planificación territorial, Agricultura y Pesca. IHOBE, S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. 1a Edición.
- Higuera, Zimbrón A.; M. Angel Rubio Toledo.** 2011. La vivienda de Interés Social: Sostenibilidad, Reglamentos Internacionales y su relación en México. Quivera, vol. 13. Núm 2. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Hornborg-J.R., McNeill J., Martínez-Alier J.** 2007. Rethinking Environmental History: World-System History and Global Environmental Change. Lanham MD.
- Huber, A., Kortman, S., Benito, A.M., & Scharp, M.** 2010. Developing and implementing effective household energy awareness services. Energy and Buildings. **25**: 320-325
- INEGI.** 2015. Estados Unidos Mexicanos. Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía. Formato Electrónico.



- International Energy Agency.** 2010. Energy Technology Perspectives. Scenarios & Strategies to 2050.
- James, J.** 199. A green Vitruvius. Principles and Practice of Sustainable architectural desing, Science Publishers, Ltd., London.
- Lechón, Y., H. Cabal, C. Lago, C. de la Rúa, R. M. Sáez, and M. Fernández,** 2005, Análisis de Ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte. Fase I. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo del Etanol de Cereales y de la Gasolina. Energía y Cambio Climático, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente. Ministerio de Educación y Ciencia. CIEMAT.
- Naciones Unidas (UN).** 2010. Fundación Alemana de Investigación de la Población Mundial. Census Bureau. Consultado en: [www. Un.org/es/aboutun](http://www.Un.org/es/aboutun) Consultado en: Enero 2014.
- Michinel, J.L.y D'alessandro-Martínez, A.** 1993. Concepciones no formales de la energía en textos de física para la escuela básica. Revista de Pedagogía, **33**: 41-59.
- Mohamad, Monkiz, K., Phillip F.G.Banfill, and Gillian F. Menzies.** 2009. Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review. Sustainability. **1**: 674-701
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).** 2000. Informe especial de Escenarios de Emisiones. Organización Mundial de Meteorología, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Porrúa-Manuel E.** 2001. Cambio Climático Global: Causas y Consecuencias. Revista de Información y Análisis INEGI Núm. 16
- Rúa-Lope, C.** 2009. Desarrollo de la herramienta integrada Análisis de ciclo de vida input – output para España y aplicación a tecnologías energéticas avanzadas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.** Gobierno Federal. 2009. Cambio Climático. Ciencia, Evidencia y Acciones. México. Pp. 334-897 Consultado en: [www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf). Consultado en: Enero 2014.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.** Gobierno Federal. 2009. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Pp. 189-246.



Consultado en: [www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf).  
Consultado en: Enero 2014.

**Secretaría de Energía (SENER)**. 2012. Balance Nacional de Energía. Primera Edición.

Consultado en: [www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/BNE\\_2011.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/BNE_2011.pdf)

Consultado en: Enero 2014

**Silva, Jacob Paulsen**; Rosa Maria Sposto. 2013. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “My house My life”. Energy and Buildings. **57**: 95 – 102.

**Singh, A.**, Beryholn, G., Joshi, S., & Syal, M. 2011. Review of Life- Cycle Assessment. Applications in building construction. Journal of architectural engineering, vol. 17, No.1, Pp. 15-23.

**Stephan, A.**, Robert H. Crawford, & Kristel de Myttenaere. 2011. Towards a more holistic approach to reducing the energy demand of dwellings. Procedia Engineering. **21**: 1033-1041.

**Suh, S.**, and G. Huppel, 2004, Methods for life cycle inventory of a product: Journal of Cleaner Production, **13**: 687-697.

**Suppen, N.**, Arguello, T. 2013. Una breve crónica del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en el sector de construcción en México. Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la Construcción en México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Editora Nydia Suppen, CADIS. Primera Edición. México. Pp. 13-15.

**Van, Wylen, G.J.** Sonntag, R.E. y Bornakke, C. 2000. Fundamentos de Termodinámica. Editorial Limusa, S.A. D.F. México.



## ANEXOS.

### I. Encuesta Realizada a los usuarios de la vivienda



**MCIA**  
Maestría en Ciencias  
en Ingeniería Ambiental  
UMSNH

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA – BIOLOGÍA – ING. CIVIL

### ENCUESTA POR VIVIENDA

No. Exterior \_\_\_\_\_ Calle \_\_\_\_\_

Vivienda Tipo \_\_\_\_\_ Número de habitantes \_\_\_\_\_

Conteo 1 Medidor \_\_\_\_\_ Conteo 2 Medidor \_\_\_\_\_ Conteo 3 Medidor \_\_\_\_\_

1.- ¿Cuántas televisiones de CRT tiene en su hogar? (en caso de no tener pasar a la pregunta 3)

Chicas

Medianas

Grandes

2.- ¿En promedio cuantas horas ve a la semana la tv?

1 a 5  6 a 10  11 a 20  + de 20

3.- ¿Cuántas televisiones de LED o plasma tiene en su hogar? (en caso de no tener pasara a la pregunta 7)

Chicas

Medianas

Grandes

4.-¿En promedio cuantas horas ve a la semana la tv?

1 a 5  6 a 10  11 a 20  + de 20

5.- ¿tiene refrigerador en su hogar? (en caso de no tener pasar a la pregunta 8)

1



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA – BIOLOGÍA – ING. CIVIL

Si            No

6.- ¿De qué tamaño es?

- Chico     (tipo frigobar)  
Mediano  (menos de 1.6 m de altura)  
Grande    (más de 1.6 m de altura)

7.- ¿Aproximadamente qué edad tiene su refrigerador?

- 0-5 años     6-10 años     11-15 años     16 a 20 años     > de 20 años

8.- ¿tiene lavadora en su hogar? (en caso de no tener pasar a la pregunta 12)

Si     No

9.- ¿En promedio cuantas horas a la semana la usa?

- 1 a 5     6 a 10     11 a 20     + de 20

10.- ¿Aproximadamente cuál es la capacidad de carga de su lavadora?

- ≤ 6 kg     7-10 kg     11-15 kg     > 15 kg

11.- ¿Aproximadamente qué edad tiene su lavadora?

- 0-5 años     6-10 años     11-15 años     16 a 20 años     más de 20 años

12.- ¿tiene secadora en su hogar? (en caso de no tener pasar a la pregunta 16)

Si     No

13.- ¿En promedio cuantas horas la semana la usa?

- 1 a 5     6 a 10     11 a 20     + de 20



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA – BIOLOGÍA – ING. CIVIL

14.- ¿Aproximadamente cuál es la capacidad de carga de su secadora?

≤ 10 kg  11-15 kg  16-20 kg  >21 kg

15.- ¿Aproximadamente qué edad tiene su secadora?

0-5 años  6-10 años  11-15 años  16 a 20 años  más de 20 años

16.- ¿tiene microondas en su hogar? (en caso de no tener pasar a la pregunta 19)

Si  No

Pulgadas \_\_\_\_\_

17.- ¿Aproximadamente qué edad tiene su microondas?

0-5 años  6-10 años  11-15 años  16 a 20 años  > de 20 años

18.- ¿En promedio cuantas horas la semana lo usa?

1 a 5  6 a 10  11 a 20  + de 20

19.- ¿tiene ventilador en su hogar? (en caso de no tener pasar a la pregunta 22)

Si  No

20.- ¿Aproximadamente qué edad tiene su ventilador?

0-5 años  6-10 años

21.- ¿En promedio cuantas horas la semana lo usa?

1 a 5  6 a 10  11 a 20  + de 20

22.- ¿tiene plancha en su hogar? (en caso de no tener pasar a la pregunta 25)



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA – BIOLOGÍA – ING. CIVIL

Si                  No

23.- ¿Aproximadamente qué edad tiene su plancha?

0-5 años     6-10 años

24.- ¿En promedio cuantas horas la semana lo usa?

0     1     2     3     4     5     ≥6

25.- ¿Cuántas computadoras de escritorio tiene? (en caso de no tener finalizar la encuesta)

0     1     2     3     4     5     ≥6

26.- ¿Aproximadamente qué edad tiene(n) su(s) computadora(s)?

0-5 años     6-10 años     >10 años

27.- ¿En promedio cuantas horas la semana la usa?

1 a 10     10 a 20     20 a 30     + de 30

Notas Adicionales:

---

---



## II. Lista de insumos utilizados en la construcción

### OBRA NEGRA

Materiales	C01	kg
10000023	ALAMBRE RECOCIDO No. 16	25.0028
10000026	ALAMBRE GALVANIZADO CAL 14	0.27105
10000028	ALAMBRO LISO DE 1/4'G No. 2	25.75
10000030	VARILLA FY=4200 KG/CM2 No. 3 (3/8")	152.01
10000031	VARILLA FY=4200 KG/CM2 No. 4 (1/2")	186
10000036	ARMEX 15X15-4	16
10000038	ARMEX 15X25-4	10
10000039	ARMEX 15X30-4	88
10000040	MALLA ELECTROSOLDADA 6X6-4/4	389.5625
10000041	MALLA ELECTROSOLDADA 6X6-6/6	659.20
10000064	DESMOLDANTE PARA CIMBRAS DE ALUMINIO	24.59
10000080	CEMENTO NORMAL GRIS TIPO I	624.99
10000081	CALHIDRA	0.0833
10000082	CEMENTO BLANCO	28
10000083	MORTERO	125
10001681	PLACA DE POLIEST. AISL 1.22X2.44x0.05	26.7912
10001686	LIGAS DEL No 10 (BOLSA DE 80 GR) 460 PZA	0.160128
10001688	PLACA DE POLIESTIRENO 0.61X1.20 M 1 1/2 DENS 16	50.36
10001704	SILLETA AC-400 (ALINEADOR DE CIMBRAS)	0.35314
10001705	SILLETA FTP - SME 100	0.916666
10001707	SILLETA FTP - SM 250	1.507555
10001708	SILLETA FTP - SM 300	1.62
10001710	DISCO SEPARADOR FTP - DS 175	2.96
10001717	TABICON DE CONCRETO DE 10X14X28 CM	1,040
10001732	BLOCK CONCRETO LIGERO DE 15X20X40 CM	110.5
10001750	TORNILLO CHILILLO GALVANIZADO 9X65 CM	0.9
10001751	TORNILLO CHILILLO GALVANIZADO 10X65 CM	0.102
10001752	TORNILLO CHILILLO GALVANIZADO 10X40 CM	0.14
10001757	CLAVO PARA CONCRETO 1 1/2"	0.0579
10001758	CLAVO PARA CONCRETO 1 1/2"	0.125
10001759	CLAVO PARA CONCRETO 2 1/2"	0.27105
10002641	PERFIL DE PVC 6625 DE 1/4"	3
11000000	CEMENTO CPC 40 GRIS A GRANEL	13,022.80
11000017	ARENA DE LA YERBABUENA	19,766.75
11000018	GRAVA TRITURADA 3/4"	36,975.45
11000040	POLYHEED N	26.0456
11000262	AGUA TRANSPORTADA EN PIPA	9,300



11000264	POLYHEED 766	78.1368
11000265	ARENA JOYITAS	42,696.18

## ACABADOS

Materiales	C01	kg
10000065	RESINA MULTIUSOS	27
10000066	RESINA ACRILICA MCA FIXOL	7
10000067	RESINA VINILICA MCA. FIXOL	8
10000085	YESO	40
10000086	PEGAZULEJO	80
10000087	PEGAPISO	30
10000318	PERMATEX 120 GR.	0.672
10000455	VENTANA DE PVC 1.495X1.495 M DER	1.827
10000459	VENTANA DE PVC 0.495X0.495 M DER	0.6025
10000463	PUERTA ACCESO MET. 0.842 X 2.06 DER	55
10000481	PUERTA EUCAPLAC 0.747 X 2.060 M IZQ	60
10000483	PUERTA EUCAPLAC 0.747 X 2.060 M DER	60
10000485	MARCO DE ALUM BCO 0.795 X 2.095 M	4.3928
10000486	MARCO DE ALUM NAT 0.895 X 2.095 M	2.2724
10000496	VENTANA DE PVC 1.200X1.200 M DER	1.457
10000563	BISAGRA DORADA DE 3 X 3 MCA TESA	0.0007536
10000860	PUERTA MET BAN 0.800X2.100 V/C 3 MM DER	22
10000865	VENTANA MET P/BAN 0.60X0.90 V/C 3 MM DER	2.16
10000877	IMPERMEABILIZANTE ACRILICO BCO 5 AÑOS	66.5
10000889	SILICON TRANSPARENTE	0.9
10000890	SILICON BLANCO (USO GENERAL)	0.9
10000899	MEMBRANA DOBLE REFUERZO 1.10X100 M	2.805
10000907	CINTA P/JUNTA D FIBRA D VIDRIO 3X150"	1.455
10000915	ESPUMA DE POLIURETANO BOTE DE 300 ML	0.3
10001250	PASTA DECORATIVA COLOR BLANCO OSTION	920
10001251	PASTA DECORATIVA COLOR BLANCO	960
10001255	GRANO No 2 P/MORTERO DECORATIVO	46
10001256	COLOR ROJO OXIDO P/CEMENTO MARCA AGUILA	0.0417
10001260	PINTURA VINILICA BLANCA	1.5827
10001273	PINTURA VINILICA sw6421 celery (5)	4
10001301	SELLADOR VINILICO 6 X 1	0.65
10001326	PLASTICO DE 6.0 M2 X KG	2.68965
10001331	RESISTOL 5000	0.1
10001358	ESTOPA	0.125



10001379	VITRODURO PORCELANICO GRIS (20 KG)	220
10001380	SUPERPEGADURO INTEGRADO (11.25KG)	86.0625
10001746	TORNILLO PARA TABLAROCA DE 1"	0.1043
10001775	TAQUETE PVC DE 1/4"	0.058
10001776	TAQUETE DE PLASTICO DE 3/8"	0.0066
10001780	PIJA 8X1"	0.0568
10001782	PIJA 8X1/2"	0.0335
10001783	PIJA 8X1 1/2"	0.1346
10001794	TAQUETE DE PLASTICO DE 1/4"	0.0053
10001802	PIJA BROCA DE 1/8X2" CABEZA PLANA	0.0033
10002731	AZULEJO FILADELFIA HUESO 20X30 24 PZA/CJ	162.053
10002733	PISO MIRELLA BEIGE 20X20 (26 PZA/CJA)	42.4512
11000275	PASTO TIPO WASHINGTON	1,384.00

## INSTALACIÓN SANITARIA

Materiales	C01	kg
10000331	REDUCCION BUSHING GALV. DE 3/4"-1/2"	0.408
10000337	CONECTOR ROJO PARA TOMA DOMICILIARIA	1.048
10000812	REGISTRO 40X60 1" C/MARCO 3/4" CAL 1/8	42.4
10000891	SILICON BLANCO MCA PENSILVANIA	1.2
10000893	SILICON BLANCO PARA PVC MCA PENSILVANIA	1.8
10000990	JABON ROMA	0.2085
10001103	PAQUETE BAÑO ECON. TZA,TANQ 5LT,LAVYASIE	53.35
10001114	ACCESORIOS DE BAÑO PORCELANA 6 PZA BCO	1.6
10001127	REGADERA ECONOMICA CON BRAZO Y CHAPETON	0.457
10001147	TARJA METALICA DE 0.80x0.50 MCA TEKA	2.4
10001159	CALENTADOR SOLAR CAPACIDAD 4 PERSONAS	61.5
10001163	CALENTADOR EFICIENTE DE GAS (DE PASO)	31
10001167	LAVADERO PREFABRICADO DERECHO	70
10001168	TINACO ROTOPLAS TRICAPA 1,100 LT	23.5
10001172	CESPOL PARA LAVADO	0.509
10001176	CESPOL FLEXIBLE PARA LAVADERO	0.012
10001177	CESPOL PARA FREGADERO GRANDE	0.5
10001178	CONTRACANASTA ECON. ACERO P/ FREGADERO	0.303
10001181	MEZCLADORA ECONOMICA PARA LAVABO	0.463
10001185	MEZCLADORA ECONOMICA PARA FREGADERO	0.646
10001187	MANERAL ECONOMICO DE ESTRELLA CHICA	0.8
10001189	EMPAQUE CHUPON DE 2X1 1/4"	0.036
10001190	EMPAQUE BASTON DE 2X1"	0.01658



10001412	CODO TERMINAL 1/2" - 3/8"	0.035
10001417	NIPLE TERMINAL DE 1/2" - 3/8"	0.028
10001426	TUERCA CONICA 3/8"	0.044
10001430	CINTA TEFLON DE 1/2"	0.025
10001431	CINTA TEFLON DE 3/4"	0.082
10001432	LLAVE DE NARIZ P/MANGUERA, BRONCE 1/2"	1.935
10001433	LLAVE COMPUERTA ROSCABLE DE 3/4"	2.77
10001436	LLAVE COMPUERTA ROSCABLE DE 1/2"	0.18
10001439	LLAVE DE EMPOTRAR ROSCABLE DE 1/2"	0.586
10001446	VALVULA CHECK VERTICAL DE 3/4" ROSCABLE	0.22
10001449	VALVULA CONTROLADORA DE FLUJO DE 1/2 ROSC	0.182
10001456	COFLEX PARA LAVABO	0.16
10001457	COFLEX PARA W.C.	0.8
10001458	COFLEX PARA TARJA	0.16
10001460	COFLEX DE 3/4" P/CALENTADOR	1.61
10001464	TUBO DE CPVC DE 1/2" TRAMO 6.1 ML	8.9243
10001465	TUBO DE CPVC DE 3/4" TRAMO 6.1 ML	8.5278
10001471	COPE DE CPVC DE 1/2"	0.054
10001476	CODO DE CPVC DE 90X1/2"	0.486
10001477	CODO DE CPVC DE 90X3/4"	0.032
10001483	TEE DE CPVC DE 1/2"	0.018
10001487	TEE DE CPVC DE 3/4X3/4X1/2"	0.162
10001488	TEE DE CPVC DE 3/4X1/2X1/2"	0.072
10001489	TEE DE CPVC DE 3/4X1/2X3/4"	0.054
10001506	ADAPTADOR CPVC MACHO 1/2"	0.051
10001507	ADAPTADOR CPVC MACHO 1/2" CONEX. FIERRO	0.468
10001510	ADAPTADOR CPVC MACHO 3/4" CONEX. FIERRO	0.118
10001518	PEGAMENTO PARA TUBERIA DE CPVC DE 237 ML	0.1213
10001521	LLAVE ANGULAR CPVC 1/2X1/2 (CEM X ROSC)	0.448
10001523	TUBO PVC SANIT DE NORMA DE 2" TRM 6.10 M	12.322
10001525	TUBO PVC SANIT DE NORMA DE 4" TRM 6.10 M	99.979
10001532	COPE PVC SANIT P/CEM 4"	0.3
10001534	CODO PVC SANIT 2"X90 P/CEMENTAR	0.406
10001536	CODO PVC SANIT 4"X90 P/CEMENTAR	0.464
10001540	CODO PVC SANIT 2"X45 P/CEMENTAR	0.153
10001552	YEE DE PVC SANIT DE 4"X4" P/CEMENTAR	0.426
10001554	YEE DE PVC SANIT DE 4"X2" P/CEM C/RED	0.64
10001560	TAPON MACHO PVC SANIT DE 4" P/CEMENTAR	0.196
10001563	PEGAMENTO PARA PVC DE 1/4 LT	0.375
10001570	LIMPIADOR OATEY PVC Y CPVC DE 473 ML	0.0788
10001575	COLADERA DE INSERCIÓN DE 4"	0.385



10001576	CESPOL PVC CON REJILLA CON SALIDA DE 2"	0.243
10001584	TUBO GALVANIZADO DE 1/2" CED 40 6.00 M	111.0996
10001585	COPE GALVANIZADO DE 1/2"	0.08
10001588	CODO GALVANIZADO DE 1/2"X90	0.404
10001589	CODO GALVANIZADO DE 3/4"X90	4.564
10001596	NIPLE GALVANIZADO CUERDA CORR DE 3/4"X1"	0.86
10001598	NIPLE GALVANIZADO DE 1/2"X2"	0.195
10001601	NIPLE GALVANIZADO DE 1/2"X3"	0.097
10001604	NIPLE GALVANIZADO DE 1/2"X6"	0.194
10001607	NIPLE GALVANIZADO DE 1/2"X12"	0.774
10001609	NIPLE GALVANIZADO DE 1/2"X28"	0.776
10001610	TEE GALVANIZADA DE 1/2"	0.288
10001612	NIPLE GALVANIZADO DE 3/4"X6" (15 CM)	0.516
10001613	NIPLE GALVANIZADO DE 3/4"X12" (30 CM)	1.03
10001615	NIPLE GALVANIZADO DE 3/4"X3" (7.5 CM)	2.322
10001617	NIPLE GALVANIZADO DE 3/4 "X8" (20 CM)	2.058
10001619	TEE GALVANIZADA DE 3/4"	2.808
10001629	TAPON CAPA GALVANIZADO DE 3/4"	0.332
10001634	TUBO DE COBRE FLEXIBLE TIPO L DE 3/8"	0.7385
10001638	TUBO GALVANIZADO 3/4" CED 40 TRAMO 6 ML	120.96
10001642	VALVULA PURGA AIRE ROSCABLE 1/2" C/NIPLE	0.21
10001649	TAPA DE CPVC DE 1/2"	0.081
10001650	TAPA DE CPVC DE 3/4"	0.046
10001652	TUERCA UNION GALVANIZADA DE 3/4"	2.964
10001653	TUERCA UNION GALVANIZADA DE 1/2"	0.171
10001657	TUBO DURMAN GAS PE-AL-PE NEGRO 3/8"	0.8944
10001667	CODO 90º HEMBRA ( C X RH ) 3/8"	0.368
10001669	TEE HEMBRA ( C X C X RH ) 3/8"	0.092
10001772	PIJA PARA FIJAR W.C.	0.088

## INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Material	C01	kg
10000588	POLIDUCTO NARANJA DE 1/2"	13.3
10000590	POLIDUCTO NARANJA DE 3/4"	3.12
10000594	CHALUPA GALVANIZADA DE 1/2"	4.86
10000595	CAJA CUADRADA GALVANIZADA DE 1/2"	1.82
10000596	CAJA CUADRADA GALVANIZADA DE 3/4"	0.502
10000597	TAPA CUADRADA GALVANIZADA DE 1/2"	0.0296
10000598	SOBRE TAPA SENCILLA GALVANIZADA 3/4"	0.172



10000604	CABLE THW 600 VOLTS 90º C CAL 10	2.773
10000605	CABLE THW 600 VOLTS 90º C CAL 12	8.4435
10000606	CABLE THW 600 VOLTS 90º C CAL 14	3.888
10000607	CABLE THW 600 VOLTS 90º C CAL 16	1.152
10000610	PLACA 1 VENT( CHASIS RES. 1U. MODUS )	1.5015
10000614	PLACA 2 VENT(CHASIS RES. 2U. MODUS )	0.9009
10000619	APAGADOR SENCILLO 10A 127 V LINEA MODUS	0.0336
10000621	APAGADOR P/ESCALERA 10A 127V LINEA MODUS	0.0042
10000623	BOTON TIMBRE 10A 127 V	0.0042
10000625	ZUMBADOR	0.027
10000632	PASTILLA TERMOMAGNETICA DE 20 AMP	0.3
10000633	PASTILLA TERMOMAGNETICA DE 30 AMP	0.15
10000634	CINTA DE AISLANTE EN ROLLO DE 20 M	0.08
10000635	CENTRO DE CARGA QO-2	1.32
10000674	PLACA PILOTO(CHASIS RES. LIN. MODUS)	0.64
10000694	ABRAZADERA DE UÑA 1/2"	0.44
10000740	LAMPARA FLUORECENTE DE 15 WATTS	0.5278
10000741	LAMPARA FLUORECENTE DE 20 WATTS	1.8473
10000750	PORTALAMPARA REDONDO C BCO MCA. BTICINO	1.89
10000751	CONTACTO DUPLEX P/INTEMPERIE C/TAPA	0.43
10000752	TOMA CORRIENTE DUPLEX POLARIZADA C/ TAPA	0.068

## MAQUINARIA

Maquinaria	C01
125	SERVICIO DE BOMBEO
126	PLANTA DE PREMEZCLADOS
127	VIBRADOR DE CONCRETO
128	OLLA REVOLVEDORA