



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERIA DE SISTEMAS – INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

**“MODELO DE SUSTENTABILIDAD PARA UN ESQUEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN  
ENERGÉTICA A PARTIR DE FUENTES CONVENCIONALES Y RENOVABLES  
EN CONJUNTOS HABITACIONALES EN MEXICO”**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

**PRESENTA:**

**BERTHA ITZEL ALCERRECA CORTE**

**TUTOR PRINCIPAL**

**DR. NICOLÁS CEFERINO KEMPER VALVERDE, CCADET**

**MÉXICO, D. F. MAYO 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: **DR. JOSÉ LUIS FERNÁNDEZ ZAYAS**

Secretario: **DR. CARLOS ESCOBAR TOLEDO**

Vocal: **M. EN C. CARLOS MENA BRITO**

1<sup>er.</sup> Suplente: **ING. FRANCISCO NIETO COLÍN**

2<sup>do.</sup> Suplente: **DR. NICOLÁS KEMPER VALVERDE**

Lugar donde se realizó la tesis: CCADET, UNAM

**TUTOR DE TESIS:**

DR. NICOLÁS CEFERINO KEMPER VALVERDE

-----  
**FIRMA**

# Agradecimientos y dedicatoria

*"La vida es lo que pasa cuando  
estás ocupado en otros planes"*  
John Lennon

## Agradecimientos y dedicatoria

Este trabajo de tesis fue posible gracias al apoyo del Centro de Ciencias Aplicadas para la Tecnología (CCADET ) por todas las facilidades prestadas para la realización de este proyecto auspiciado por CONAVI-CONACYT

Un especial reconocimiento al Dr. Nicolás Kemper Valverde por su paciencia y aportaciones en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco profundamente la revisión y comentarios integrados en este documento al Dr. José Luis Fernandez Zayas, al Dr. Carlos Escobar Toledo, al M. en C. Carlos Mena Brito, e Ing. Francisco Nieto Colín.

Al Dr. Giovanni Hernández, a la Dra. Cecilia Martín del Campo, al M. en Arq. Carlos Romo, a la Dra. Julieta Salgado, al Dr. José Amozurrutia, a la M. en C. Leticia Lozano, al Mtro. Tomasz Kotecki por compartir sus experiencias y coincidencias a nivel profesional y personal.

Aprecio todo el cariño y apoyo de Jesica, Alexandra, Mariana, Rodrigo, José Luis, Jonathan, Alberto, Luis, Paty, Macario, Mauricio, Oscar y a todos los colegas en la Maestría quienes enriquecieron esta segunda oportunidad en la Facultad de Química.

Dedico este capítulo más en mi vida:

A FRANCISCO, quien su partida repentina me recuerda el vivir al máximo y materializar mis sueños.

A ASTRO, mi estrella constante, hermano y mejor amigo.

A BERTHA CORTE, mi madre y mi gran ejemplo a seguir.

## Resumen

Con la expansión de la población y el crecimiento económico, la demanda de energía seguirá incrementando en todo el mundo, por lo que la energía procedente de fuentes renovables ocupará un lugar fundamental. En 2050, se estima que México tendrá alrededor de 121 millones de habitantes representando un reto multinivel hacia a la sustentabilidad por la demanda creciente de recursos y servicios particularmente en el sector vivienda en requiriendo la integración de los actores en el sector energético, los desarrolladores de vivienda y sector financiero para desarrollar mecanismos que fomente la implementación de tecnologías sustentables y promuevan un mercado de la construcción sustentable.

Ante un problema complejo, se propuso un modelo de evaluación de la sustentabilidad energética a partir de una metodología de análisis multicriterio facilitando el análisis de las variables a través de un modelo adaptativo en un sistema autorganizado para generar las soluciones y facilitar la toma de decisiones considerando tres dimensiones de la sustentabilidad: económica, social y ambiental. Estas dimensiones son organizadas en un esquema jerárquico de categorías en dos áreas: eléctrica y térmica. Para la generación térmica y eléctrica, se comparó el calentamiento de agua y suministro eléctrico por fuentes de suministro convencionales (combustibles fósiles) y por tecnologías ambientalmente amigables (energía solar). El modelo multicriterio coincide con la dimensión económica ha sido la decisión más común con los actores involucrados en el sector.

La generación térmica con renovables principalmente con esquemas híbridos solares resultó la opción mejor calificada. Respecto a la generación eléctrica se muestra que desde una dimensión solamente económica, las renovables no son favorecidas en la toma de decisión.

En este sentido, las políticas existentes en México para el desarrollo de vivienda deben evolucionar hacia el desarrollo eficiente considerando criterios de sustentabilidad como el uso de energías renovables y agua, uso de suelo y eficiencia energética para mejorar la calidad de vida en un contexto de sustentabilidad. El fomento de esquemas híbridos usando de energías renovables en la vivienda es un opción viable que debe ir acompañado con el

umento de esquemas de financiamiento para la instalación de módulos incrementando la demanda de ecotecnologías por parte de la sociedad.

## **Abstract**

There is an increasing number of inhabitant number all around the World that will reflect on the resources and services demand particularly on the housing sector. By 2050, Mexico is expected to have 121 million inhabitants representing a multilevel challenge toward a sustainable pathway requiring the stakeholder's integration on the energy, the building contracting and the financing sector.

With a complex problem, the multicriteria decision model would help to arrange the variables of the adaptative model into auto-organized systems to generate solutions and "easy" the decision making process into the sustainable three dimensions: economic, social and environmental. These three dimensions are arranged on a jerarquic squeeme of cathegories in two areas: thermic and electrical generation. For the thermic generation, we compared the water heating with conventional and environmentally friendly technologies. For the electric generation, we compared the energy generation through conventional and renewable energies such as solar technologies.

The multicriteria model has showed the economic dimension has been the most practiced decision so far by the stakeholders. On the thermic generation, the renewables mainly the solar systems are conquering little by little as a environmentally friendly option suitable for the housing sector fullfilling the economic dimension to be competitive to the conventional generation. The current proposal is to use a hybrid system: Solar Water Heating with a support system of Natural Gas. On regard the electric generation, even though the environmental dimension its pushing forward the use of the renewables energies, the economic dimension has shown the finance strategy is way more important.

According to the existing policies in Mexico, an integral housing development aims to promote an efficient development that considers sustainable criteria such as the use of renewables energies, water use, land occupancy and energy efficiency in order to obtain a quality of life within a sustainable context.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>8</b>
1.1 Problemática	9
1.2 Objetivo general	11
1.3 Hipótesis	11
<b>2. Marco teórico</b>	<b>12</b>
2.1 Sustentabilidad	13
2.2 Generación energética a partir de fuentes convencionales	16
2.3 Generación energética a partir de fuentes renovables	19
2.4. Sistemas híbridos para la generación energética	32
2.5 Vivienda	33
2.6 Vivienda sustentable	33
2.7 Evaluación de la sustentabilidad de la vivienda en México	38
2.8 Eficiencia energética en una vivienda sustentable	40
2.9 Uso de sistemas híbridos de generación energética en la vivienda	41
2.10 Normatividad vigente	43
<b>3. Metodología para construir el modelo</b>	<b>45</b>
3.1 El modelo como representación del sistema	46
3.2 Dimensiones y categorías por dimensiones	47
3.3 Metodología de energías renovables	52
3.4 Metodología para la toma de decisiones	56
<b>4. Resultados y Análisis</b>	<b>64</b>
4.1 Área Eléctrica	65
4.2 Área Térmica	70
4.3 Recomendaciones para el modelo de sustentabilidad energética	76
<b>5. Conclusiones y perspectivas</b>	<b>78</b>
5.1 Conclusiones	79
5.2 Perspectivas	81
5.3 Prospectiva del sector energético	82
5.4 Prospectiva del sector residencial	83
<b>6. Referencias consultadas</b>	<b>85</b>
<b>7. Anexos</b>	<b>88</b>
7.1 Glosario de términos	89
7.2 Ciudades consideradas en los nueve bioclimas en México	91

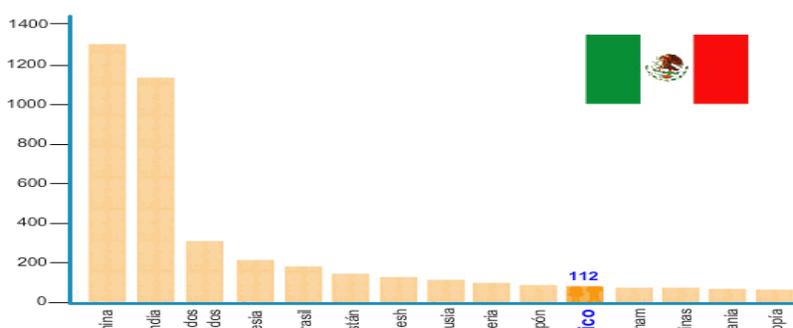
# 1. Introducción

*"El viaje es la recompensa"*  
Steven Jobs

# 1. Introducción

## 1.1 La problemática

Actualmente, la población total en el mundo es más de **7,105,237,540** de habitantes (Worldometers, 2013). México se sitúa entre los once países más poblados del mundo de acuerdo al más reciente Censo de Población y Vivienda 2010 que contabilizó 112,336,568 habitantes y un número total de viviendas particulares alcanzó 35.6 millones (INEGI , 2010)



**Figura 1.1 Gráfica comparativa de los países más poblados del mundo, millones de habitantes (INEGI , 2010)**

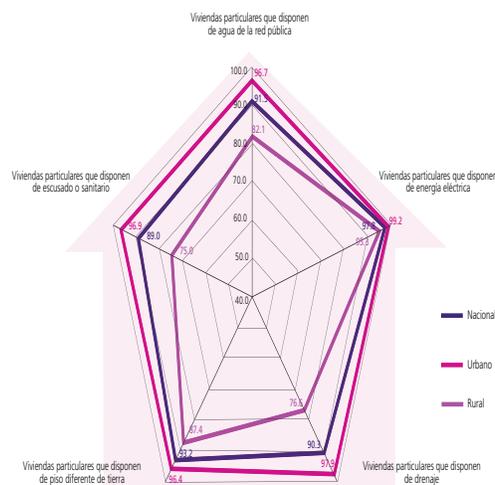
Ante un panorama demográfico en México con más de 121 millones de habitantes para el 2050 donde se construirán alrededor de 600 mil casas al año en la siguiente década (CONAVI, 2012), representa un gran reto considerando los recursos de toda índole que son necesarios particularmente cuando se utilizan intensivamente recursos no renovables.

El “boom” inmobiliario ha impactado negativamente en años recientes a las economías globales generando ciudades con un modelo de crecimiento urbano extensivo involucrando nuevos problemas que han desembocado en un mayor consumo de combustibles y por lo tanto en una mayor producción de emisiones de gases de efecto invernadero; aumento en los costos y tiempo de desplazamiento de los habitantes; pérdida de áreas de conservación y de producción agrícola; mayores costos de urbanización y gran segregación social y económica del espacio urbano que repercute en una disminución en la calidad de vida de los habitantes.

En las ciudades es preciso optimizar el uso de los recursos naturales y materiales disponibles fomentando el desarrollo sustentable que aspire a una mejor integración social dentro de un contexto ambientalmente amigable y una economía más competitiva. (CONOREVI, 2010).

En México de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 a nivel nacional (INEGI, 2010):

- Existen más de 28.6 millones de viviendas
- En cada vivienda habitan en promedio tres personas
- El 97.8% de las viviendas disponen de energía eléctrica
- El 70% se abastece de agua entubada dentro de la vivienda.
- El 91.5% de las viviendas disponen de agua de la red pública
- El 89% de las viviendas disponen de escusado o sanitario
- El 90.3% de las viviendas disponen de drenaje
- El 93.2 % de las viviendas disponen de piso diferente de tierra



**Figura 1.2 Porcentaje de viviendas particulares en México según la disponibilidad de agua de la red pública, energía eléctrica, drenaje, piso diferente de tierra y sanitario. (ONU-HABITAT, 2011) e (INEGI, 2010)**

Como parte del proyecto “Sistema Inteligente para la optimización de esquemas de energía renovable en conjuntos habitacionales” realizado en colaboración del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se deriva una vertiente enfocada a desarrollar un modelo el cual contemple el uso de las energías renovables y convencionales aplicadas en un esquema híbrido en conjuntos habitacionales en México.

## **1.2 Objetivo general**

A través de este trabajo, se propone un modelo de sustentabilidad para un esquema híbrido de generación energética. En este contexto, este trabajo analiza los diagnósticos sobre las diversas fuentes de generación eléctrica y térmica y se establecen varios escenarios de sustentabilidad de acuerdo a las distintas necesidades que enfrentan regiones bioclimáticas en el país.

El documento se divide en cuatro apartados. La primera parte se ocupa en describir el marco teórico. Posteriormente se detalla la metodología utilizada. En la tercera sección se presentan los resultados y análisis de los mismos. Finalmente, en la última sección se presenta las conclusiones y perspectivas.

## **1.3 Hipótesis**

Las principales hipótesis relacionadas con el objetivo general son que:

- 1) La eficiencia y diversificación energética en el sector habitacional de Mexico contribuye a la sustentabilidad social, económica y ambiental, a través de esquemas híbridos de generación eléctrica.
- 2) La utilización de un modelo con múltiples criterios ayudará a la toma de mejores decisiones relacionados con la composición de los esquemas híbridos de generación eléctrica.

## 2. Marco teórico

*“El valor de una idea está en utilizarla”*  
Thomas A. Edison

## 2. Marco teórico

En este capítulo se revisan los conceptos de sustentabilidad y las tres dimensiones que lo componen. También se describe la generación energética por fuentes convencionales y por fuentes renovables así como una breve revisión de la normatividad vigente que aplica al sector energético y a la vivienda. Posteriormente, se presenta el concepto de vivienda sustentable, los criterios de sustentabilidad considerados y el modelo propuesto para determinar la sustentabilidad en el sector vivienda. Por último, específicamente para el tema energético en la vivienda se mencionan los criterios que integran el desarrollo de metodología en el capítulo 3.

### 2.1 Sustentabilidad<sup>1</sup>

El concepto de sustentabilidad se desprende del informe Bruntland titulado “*Nuestro Futuro en Común*” presentado en 1987 en las Naciones Unidas haciendo una reflexión a los medios y formas en que la sociedad ha instrumentado sus esfuerzos de desarrollo están destruyendo el ambiente. El desarrollo sustentable es “*un desarrollo que logrará satisfacer las necesidades de esta generación sin poner en riesgo la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus necesidades*” (Comisión Bruntland, ONU, 1987).

El concepto de sustentabilidad reconoce los límites y el potencial de la naturaleza, así como en la complejidad del manejo del medio ambiente y el difícil equilibrio que significa una explotación sin consecuencias desastrosas para el presente y el futuro. (IGLOM, 2010) En la Figura 2.1 se muestra una representación gráfica del desarrollo sustentable que involucra tres dimensiones o pilares: **Ambiental, Económico y Social**.

Dicha representación gráfica de la sustentabilidad integra un conjunto donde la intersección de las tres dimensiones es el desarrollo sustentable. Si solo se

---

<sup>1</sup> Para efectos de homologar los términos respecto a las publicaciones del gobierno mexicano y de las Naciones Unidas, en este documento se utilizará el concepto *sustentable*. Como parte de la reflexión, IGLOM se remite a las etimologías donde “...sostenibilidad remite a “sostén” en la que alguien o algo externo o ajeno aparece en escena y sostiene determinada situación y sustentable nos lleva a “sustento”, que podría ser alimento. En este sentido, un modelo sustentable no sólo se valdría por sí mismo sino que también realizaría la función de alimentar a las personas que lo integran.” Y menciona “¿De qué sirve un modelo supuestamente sostenible que no garantice el sustento de la población?” (IGLOM, 2010)

contemplan dos dimensiones tendremos tres subcategorías: solo el ámbito económico y social corresponde a un desarrollo equitativo sin dimensión ambiental. En cambio, si solo se considera el ámbito económico y ambiental dejando de lado la parte social, se llama un desarrollo viable. En el caso de sólo la dimensión social y ambiental, hablamos de un desarrollo vivible.



**Figura 2.1 Las tres dimensiones de la sustentabilidad adaptado de <http://www.zonalibre.org/blog/arquitecturayeducar/archives/desarrollo%20sostenible.gif>**

### **2.1.1 Sustentabilidad desde la dimensión Ambiental**

En los términos del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012, el desarrollo de la “sustentabilidad ambiental se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos naturales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. En efecto, el desarrollo ambientalmente sustentable se centra en *controlar la contaminación, preservar los recursos no renovables, ser eficiente en el uso de energía y preservar el medio ambiente para permitir la preservación y transmisión del capital natural a las generaciones futuras*” (PND, 2007-2012)

En este marco, el PND establece la necesidad de realizar acciones para “propiciar la prevención, control y reversión de los procesos que generan la contaminación, el agotamiento y degradación de los recursos naturales y promover su aprovechamiento sustentable, con el fin de contribuir a mejorar la calidad de vida de la población”

### **2.1.2 Sustentabilidad desde la dimensión Social**

El desarrollo socialmente sustentable es el que no genera efectos negativos en la sociedad, tales que puedan impedir o dificultar el mejoramiento de las condiciones de bienestar de grupos de la población actual y/o futura. El desarrollo socialmente sustentable favorece la justicia social, la solidaridad, la participación, la inclusión social, la diversidad, la resiliencia y la adaptación a condiciones adversas. Esta dimensión requiere de varias acciones para:

- a) Accesibilidad a servicios sociales y a oportunidades, es decir que si una parte la población se encuentra excluida, su posibilidad de superarse se encuentran limitadas y se vuelve socialmente insustentable.
- b) Reforzamiento de capacidades donde la forma más efectiva para romper el ciclo de la pobreza es mediante el fomento de las capacidades individuales y colectivas que permitan contrarrestar los efectos adversos de la vulnerabilidad económica y social sobre sus condiciones de vida.

### **2.1.3 Sustentabilidad desde la dimensión económica**

Un desarrollo económico sustentable implica el desarrollo de mecanismos o modelos económicos que contemplen los riesgos del cambio climático. Las oportunidades de crecimiento y desarrollo que se pueden conseguir aún disminuyendo las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). La inacción equivaldría a perder de un 5% a 20 % del Producto Interno Bruto (PIB) cada año. (USAID-ITAM, 2010)

A lo largo de las últimas décadas, el desarrollo económico del mundo se ha vinculado al desarrollo de los sectores como el energético. En el contexto de la sustentabilidad energética es preciso conocer las energías disponibles para el abastecimiento y crecimiento económico de acuerdo a las necesidades de la población.

Dependiendo de la fuente de obtención de la energía, podemos clasificarla en dos tipos: renovable y no renovable. Las no renovables se consideran aquellas de origen fósil (petróleo, gas y carbón) y la renovable se basa en el uso de los

ciclos naturales (biomasa, geotermia, eólica, hidroeléctrica, solar, entre otras). (CONAFOVI, 2006)

A continuación se describen las energías convencionales (no renovables) disponibles a nivel mundial y en México. Asimismo, se detallarán las energías renovables que son utilizadas como alternativas para reducir la presión energética y las emisiones de GEI a nivel global.

## 2.2 Generación energética a partir de fuentes convencionales

Para la generación energética, la fuente convencional de energía ha sido a partir de los combustibles fósiles. Se han transitado varios periodos de crisis internacionales en los precios de crudo dando lugar a modificaciones en los hábitos de consumo energético. Para el año 2050, se estima que la demanda mundial de energía será el doble al valor actual. (USAID-ITAM, 2010)

### 2.2.1 Generación eléctrica convencional en el mundo

En 2008, la generación eléctrica mundial se estimaba alrededor de 20,181 TWh (OECD/IEA, 2010) y para 2010, la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) informó un estimado de 21 431 TWh (OECD/IEA, 2012) En la Figura 2.2, observamos el mayor porcentaje de generación se obtuvo principalmente de fuentes no renovables como el carbón y petróleo con un 45.2%, seguido por gas con un 22.2%. En cuanto a los renovables, las hidroeléctricas y otras considerando a las energías geotérmicas, solares, eólicas y entre otras aportan en un 16.0% y 3.7% respectivamente.

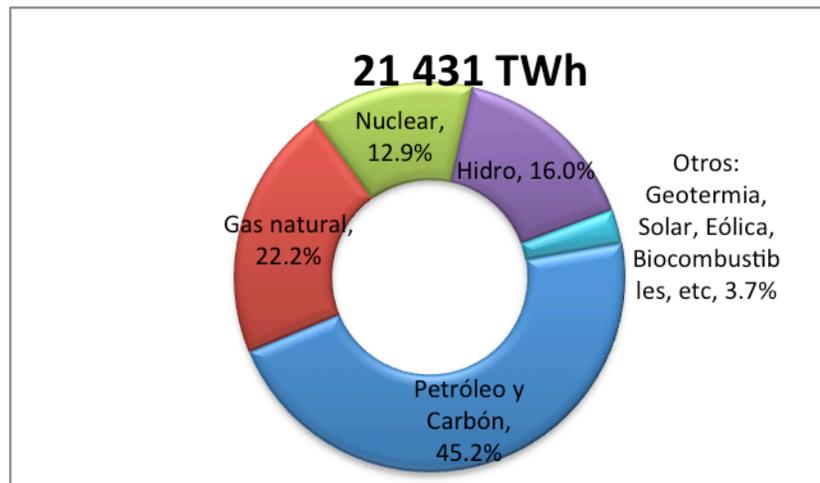
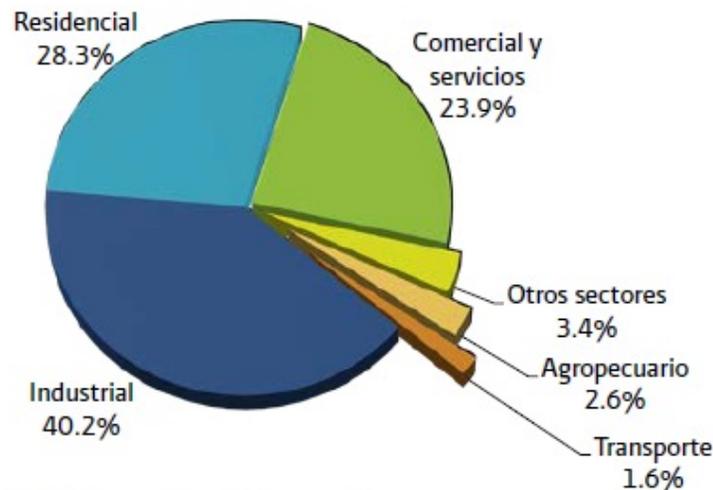


Figura 2.2 Generación eléctrica mundial en 2010 (OECD/IEA, 2012)

En la Figura 2.3 podemos observar la distribución del consumo final de electricidad a nivel mundial en 2009 donde el principal porcentaje de consumo se genera en el sector industrial con 40.2%, seguido por el sector residencial con un 28.3% y el sector comercial y servicios de 23.9%.



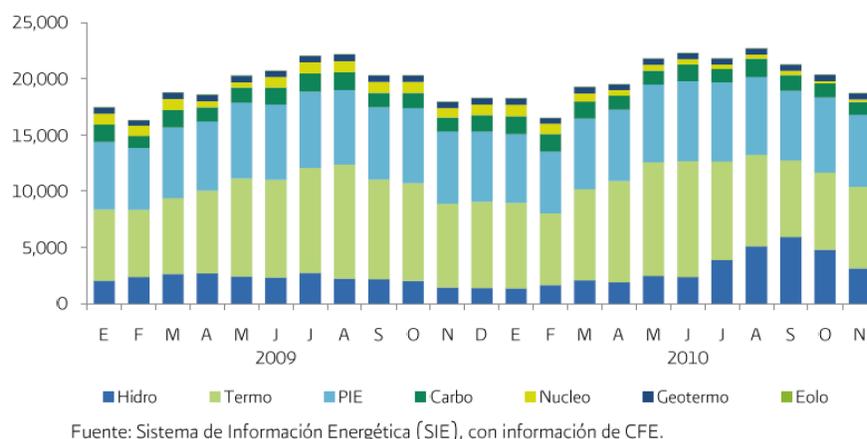
**Figura 2.3. Consumo final de electricidad a nivel mundial (IEA, 2011)**

Concretamente México aporta el 3.6% de la producción mundial de petróleo. (OECD/IEA, 2012) Aproximadamente el 67% de los energéticos provienen de recursos no renovables obligando a la consolidación de alternativas para preservar los recursos naturales y abastecer la demanda energética. (CONUEE, 2010)

## **2.2.2 Generación eléctrica convencional en México**

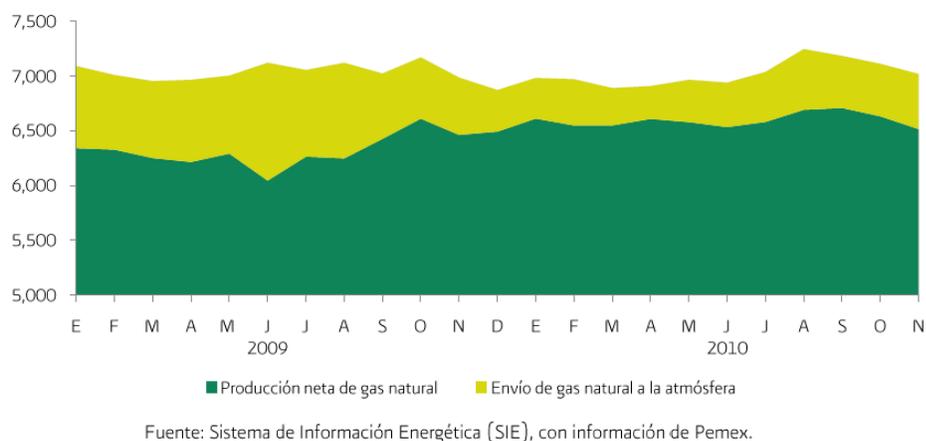
De acuerdo con las estadísticas destacadas del sector energético reportadas por SENER en noviembre del 2010, se generaron 18,729 GWh de energía eléctrica que significa aumentó 4.2% la generación bruta de electricidad. (Figura 2.4)

Las termoeléctricas participaron con 38.6% de dicha generación, seguidas por productores independientes (PIE) con 34.3% y las centrales hidroeléctricas con 16.8%. En tanto, las carboeléctricas participaron con 6.0%, las centrales geotérmicas con 3.0%, la central nuclear con 1.2% y las centrales eólicas con 0.1%. La generación hidroeléctrica aumentó 120.2% respecto a noviembre del año anterior, derivado de las condiciones climatológicas del 2010. Por otro lado, destacó la caída de 72.7% en la generación nuclear como resultado de las labores de mantenimiento en la central Laguna Verde. (SENER, 2010)



**Figura 2.4 Generación bruta de energía eléctrica en GWh (SENER, 2010)**

En noviembre de 2010 se produjeron 6515.7 millones de pies cúbicos diarios de gas natural neto, que significó un aumento de 0.8% anual y un aprovechamiento del gas de 93%. (SENER, 2010) En la Figura 2.5, se muestra la producción neta de gas natural en México correspondiente a los últimos dos años.



**Figura 2.5 Producción neta de gas natural (millones de pies cúbicos diarios), (SENER, 2010)**

De acuerdo a los informes de SENER y a la Quinta Comunicación Nacional <sup>2</sup>, (SEMARNAT/INECC, 2012) el análisis de combustibles utilizados para la generación de electricidad en 2010 fue principalmente con gas natural (58%). Con relación al consumo final de electricidad por sectores, en la Figura 2.6 se presenta el crecimiento en 1990 y 2010. Específicamente en ese periodo, el sector residencial muestra un incremento del 142.3% en relación al consumo final de energía eléctrica.

<sup>2</sup> Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático presentada en diciembre del 2012.

	1990	2010	Crecimiento (%) 2010/1990	TCMA (%)
<b>Total</b>	<b>92,123.1</b>	<b>187,813.4</b>	<b>103.9</b>	<b>3.6</b>
Residencial	20,390.0	49,407.0	142.3	4.5
Comercial	8,285.0	13,069.0	57.7	2.3
Público	4,529.2	7,723.0	70.5	2.7
Transporte	752.2	1,190.8	58.3	2.3
Agropecuario	6,706.9	8,599.6	28.2	1.3
Industrial	51,459.7	107,824.0	109.5	3.8

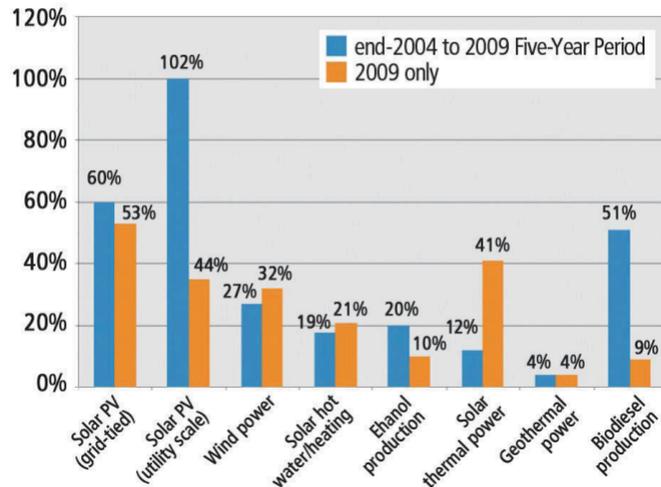
**Figura 2. 6 Consumo final de energía eléctrica, 1990 y 2010 (GWh). Elaboración para la 5CN con datos de SENER. (SEMARNAT/INECC, 2012)**

### 2.3 Generación energética a partir de fuentes renovables

En la actualidad, el mundo enfrenta una crisis de cambio climático causada por los efectos de industrialización y consumo de combustibles fósiles. Para los años 2040, se han realizado estudios de prospectiva energética elaborados por diversas instancias internacionales como la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) indican los combustibles fósiles permanecerán como la fuente principal de energía. El crecimiento demográfico, la presión energética ante la caída en las reservas petroleras y el aumento en las emisiones de GEI alrededor del mundo, empuja los esfuerzos internacionales y nacionales para la producción de energía a partir de fuentes renovables (USAID-ITAM, 2010).

Como parte de los avances en la generación por renovables, en la Figura 2.7 se muestran las cifras correspondientes al año 2009 respecto al incremento en la capacidad instalada de energías renovables a nivel global reportadas por la organización REN21<sup>3</sup>: Paneles Solares Fotovoltaicos interconectados a la red (53%), Calentamiento Solar de Agua (21%), Energía Eólica (32%), Energía Geotérmica (4%) y Energía Hidráulica (3%). (REN21, 2010)

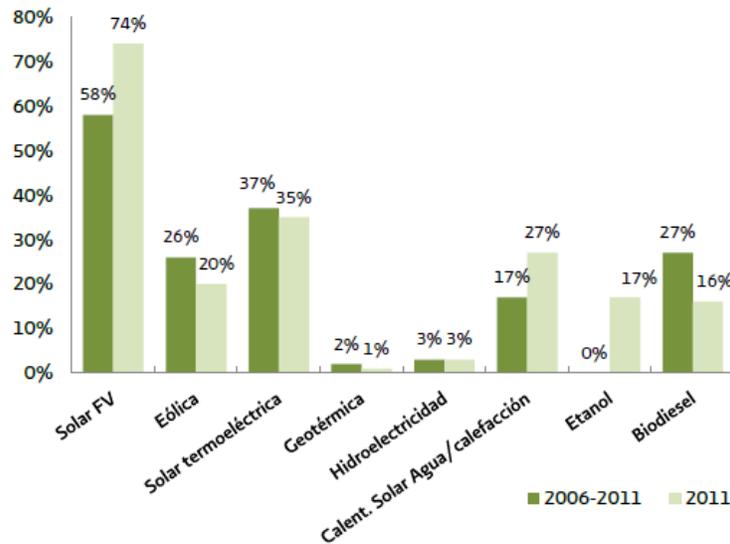
<sup>3</sup> Renewable Energy Policy Network for the 21st Century



**Figura 2. 7 Incremento Promedio Anual en la Capacidad de Energías Renovables para el año 2009 (REN21, 2010)**

Las energías renovables tienen un rol importante en la generación energética que proveerá a los países en desarrollo que aun dependen de las fuentes convencionales en el sector doméstico y en las industrias pequeñas. Los países con mayores avances en la instalación e implementación de las energías renovables son: China, Alemania, Italia, Bélgica, Turquía, España, República Checa y Estados Unidos. Para 2009, al menos 83 países tienen con algún tipo de política pública que fomenta la generación de energía renovable. (REN21, 2010).

En la Figura 2.8 se muestra el porcentaje de crecimiento de la capacidad global de producción de energía renovable 2006-2011 donde para el 2011, es notable el incremento en la Solar Fotovoltaica y el Calentamiento Solar de Agua/Calefacción con un incremento al 16% y 10%, respectivamente a la producción del 2006-2011.

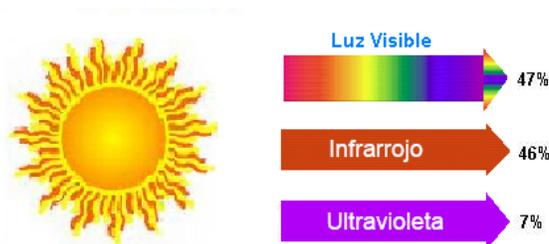


**Figura 2. 8 Tasa de crecimiento de la capacidad global de producción de energía renovable 2006-2011 (%) (REN21, 2012) y (SEMARNAT/INECC, 2012)**

A continuación se hará una descripción breve de la cada una de las energías renovables consideradas:

### 2.3.1 Energía Solar

El Sol es una fuente directa de la energía solar y produce una enorme cantidad de energía: aproximadamente  $1.1 \times 10^{20}$  KWh/segundo (1 KWh= 1KiloWatt hora es la energía necesaria para iluminar un foco de 100 Watts durante 10 horas). La radiación solar es la energía emitida por el sol (rayos solares) en forma de ondas electromagnéticas que se desplazan en el espacio en todas direcciones. La Figura 2.9 nos muestra los componentes de la radiación solar (bandas de radiación).



**Figura 2.9 Componentes de la Radiación Solar.**  
**Fuente: (Vázquez Martínez, Del Valle Cárdenas, Lino Linares, & López Saldivar, 2008)**

Todas estas radiaciones inciden sobre los límites exteriores de la atmósfera terrestre y tienen un valor aproximado de irradiación de  $1367 \text{ W/m}^2$ , el cual es conocido como valor de la constante solar. (SOLARTRONIC, 2010)

El aprovechamiento de la radiación solar para la generación de energía puede aprovecharse en forma de calor (directamente) o en electricidad. . (SMADF Vazquez, 2008). Para el aprovechamiento de la energía solar se utilizan dos tipos de tecnologías:

1. Fotovoltaicas: Convierten la energía solar (luminosa) en eléctrica. Ejemplos de aplicación: electrificación rural, bombeo y refrigeración
2. Termosolares: Usan la energía del sol (radiación) para el calentamiento de fluidos. Ejemplo de aplicación: calentamiento de agua.

El potencial de energía solar de México es uno de los más altos a nivel mundial. En la Figura 2.10 se muestra la Tasa de Insolación que recibe México ( $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ ). Alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con una insolación media del orden de  $5 \text{ kWh/m}^2$  al día. Es decir, por cada metro cuadrado se reciben al día la energía que consumen en una hora 50 focos incandescentes de  $100 \text{ W}$ .

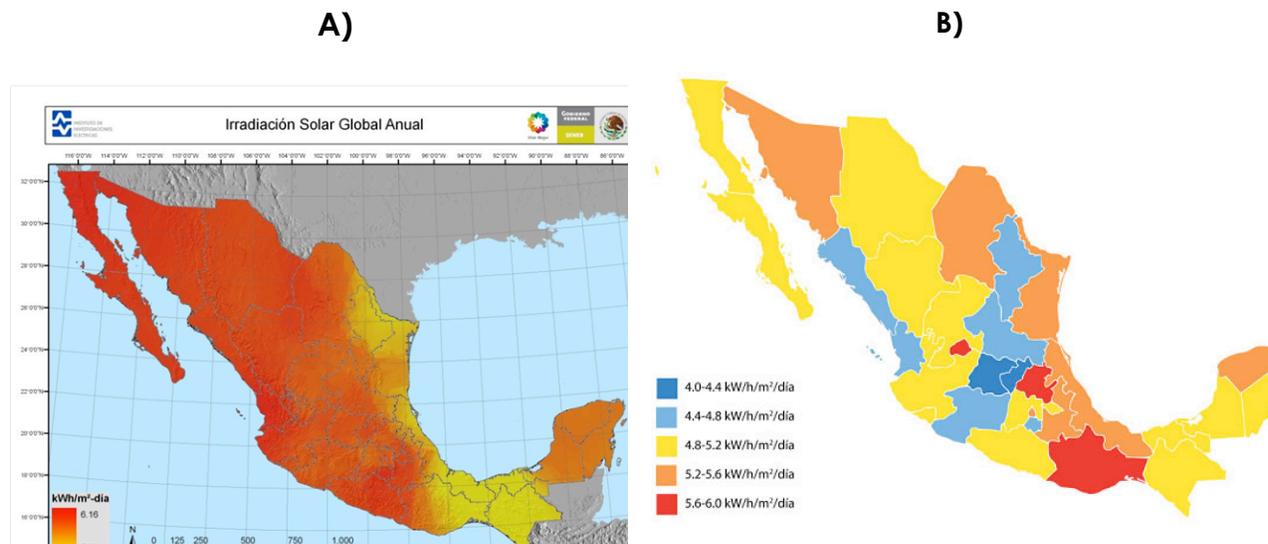


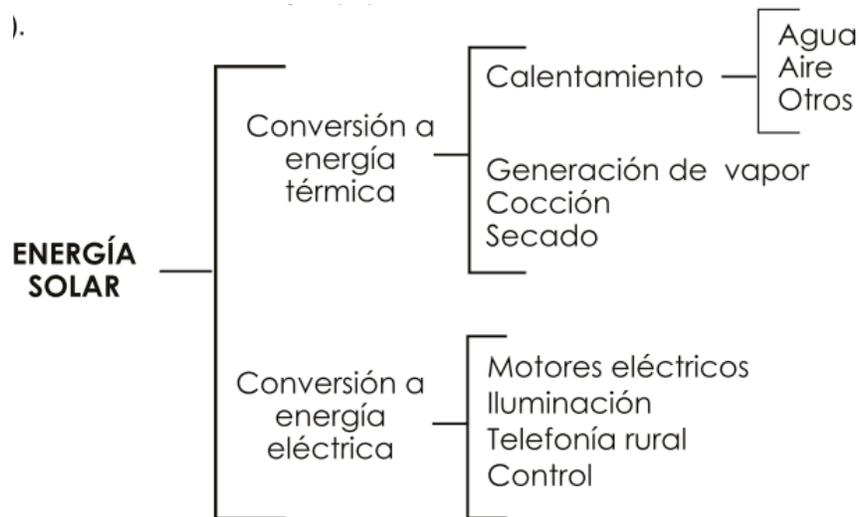
Figura 2.10 A) Irradiación Solar Global Anual Fuente: [www.renovables.gob.mx](http://www.renovables.gob.mx)

B) Generación Solar en México en  $\text{KWh/m}^2/\text{día}$

Fuente: [www.calderascalefaccionycalentadoressolares.com.mx/calentadores-solares.html](http://www.calderascalefaccionycalentadoressolares.com.mx/calentadores-solares.html)

- **Aprovechamiento de la energía solar**

Es posible obtener calor de la energía solar a través de la conversión térmica ya sea para calentamiento de agua, generación de vapor, cocción de alimentos, entre otros. Para el caso de la conversión eléctrica, la electricidad obtenida permite accionar motores eléctricos, operar equipos de iluminación, telefonía rural y equipos de control. (Ver figura 2.11)



**Figura 2.11 Conversiones de la energía solar a energía eléctrica y térmica (SMADF Vazquez, 2008)**

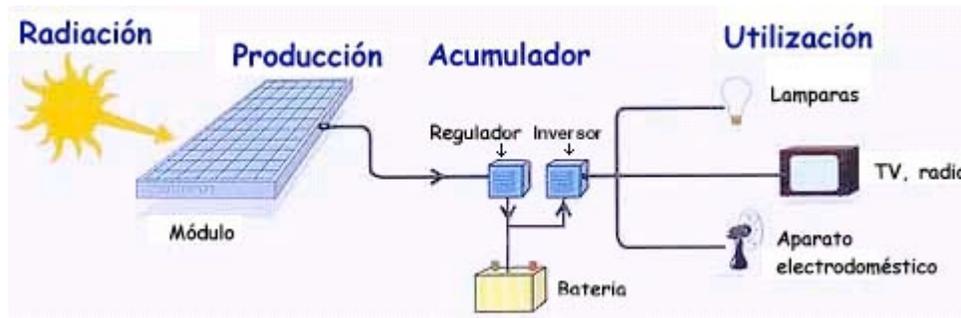
- **Paneles fotovoltaicos**

Un sistema fotovoltaico es un dispositivo que, a partir de la radiación solar, produce energía eléctrica en condiciones de ser aprovechada por el hombre. El sistema consta de los siguientes elementos (ver Figura 2.12):

- Un generador solar, compuesto por un conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la radiación luminosa procedente del sol y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 ó 24 V).
- Una batería o acumulador, que almacena la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados.
- Un controlador de carga, cuya función es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, que le produciría daños irreversibles;

y asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.

- Un inversor (opcional), que transforma la corriente continua de 12 ó 24 V almacenada en la batería, en corriente alterna de 110 V.



**Figura 2.12 Paneles fotovoltaicos (SOLARTRONIC, 2004)**

Dadas las características de los sistemas fotovoltaicos, en los que la capacidad de acumulación de energía es limitada, los equipos de iluminación y electrodomésticos han de ser de elevado rendimiento y bajo consumo para aprovechar al máximo esa energía. Las más idóneas son las lámparas compactas que dan las mismas prestaciones luminosas que los focos convencionales pero ahorran aproximadamente un 80% de energía y tienen una duración 8 veces superior.

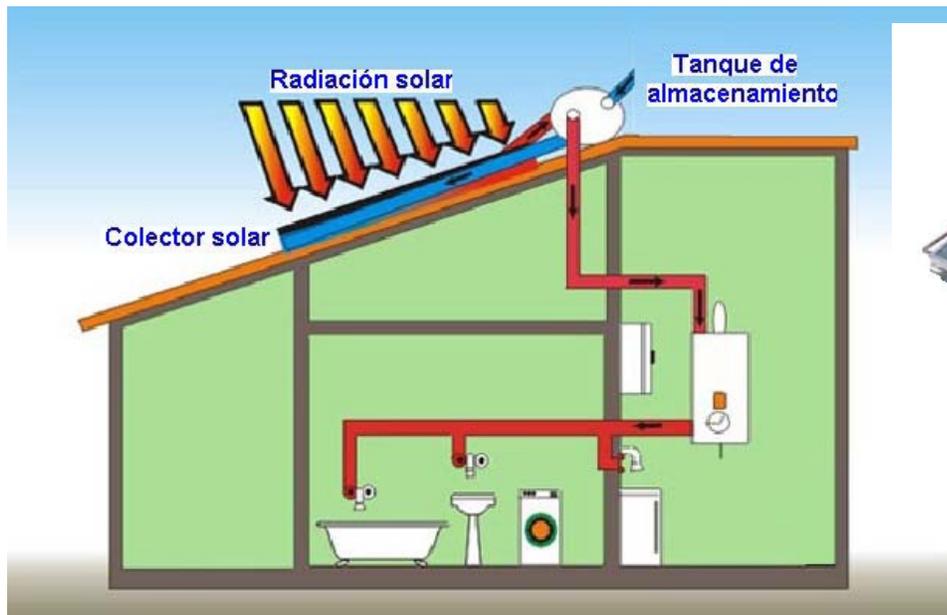
- **Calentadores solares de agua (CSA)**

Los Sistemas de Calentamiento Solar de Agua para uso doméstico son una buena alternativa respecto a los sistemas convencionales (calentadores de gas y eléctricos). Emplean colectores planos con recubrimiento de vidrio que como recordará provocan dentro de ellos un efecto invernadero. En aplicaciones de uso doméstico se emplean dos tipos de sistemas, estos son: el de termosifón y el forzado. (Vázquez Martínez, Del Valle Cárdenas, Lino Linares, & López Saldivar, 2008)

- **Sistema Termosifón**

Es muy usado en lugares en donde las condiciones climáticas no presenten peligro de congelación, se instala normalmente sobre el techo de casas o viviendas, su tanque de almacenamiento está ubicado en una posición superior a la del colector.

**Funcionamiento del Sistema Termosifón:** El colector solar capta la radiación del sol (directa y difusa) y por el principio de termosifonamiento, el agua se calienta y sale del colector para subir hasta el tanque de almacenamiento y hace que el agua fría (más pesada) baje hacia el colector para ser calentada iniciando así el ciclo. El tanque de almacenamiento cuenta con un aislamiento que solo permite pérdidas de calor (mínimas) durante la noche. En situaciones climáticas adversas y a fin de garantizar el abasto de agua caliente a la vivienda, estos sistemas llegan a instalar como sistema de apoyo una resistencia eléctrica de encendido y apagado automático.



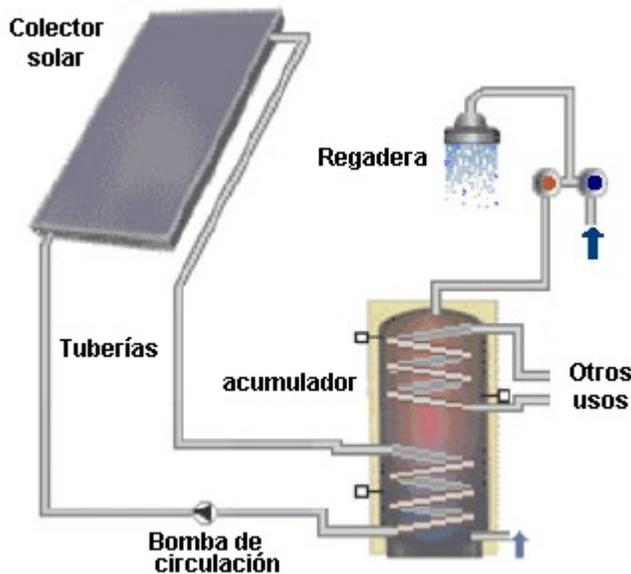
ra 2.13 Funcionamiento  
l Equipo Termosifónico  
alado en una Vivienda  
(Fuente:

www.solomantenimiento.com)

- **Sistema forzado**

En los sistemas forzados los colectores solares se instalan sobre el techo y el tanque de almacenamiento en un lugar bajo techo, se le llama forzado porque requiere de una bomba de circulación que transporte el agua del tanque de almacenamiento al colector para ser calentada y viceversa. Estos sistemas son muy estéticos, pero tienen un elevado costo al requerir de tuberías y más materiales para su correcto funcionamiento.

**Funcionamiento del Sistema Forzado:** Mediante un control termodiferencial, apoyado por dos sensores de temperatura que se ubican en la parte más caliente del colector y otro en la parte más fría del termotanque, se echa a andar la bomba de circulación y así iniciar el proceso de calentamiento. El agua fría del tanque es bombeada hacia el colector, para ser calentada y, una vez caliente, regresa al tanque. Cuando la temperatura del colector es igual a la del tanque, el control termodiferencial apaga la bomba (normalmente en la tarde). El tanque debe estar bien aislado para que el agua tenga pérdidas de calor mínimas y conserve el agua para su consumo al día siguiente.

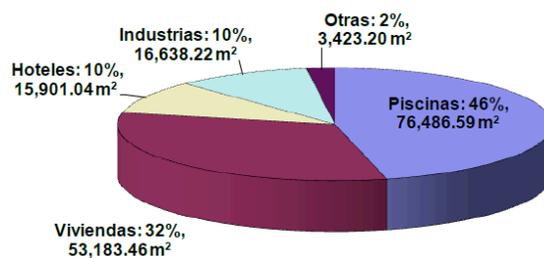


**Figura 2.14 Funcionamiento del Equipo Termodiferenciado instalado en una Vivienda**  
(Fuente: [www.fontaliberic.com](http://www.fontaliberic.com), [www.censolar.es](http://www.censolar.es))

Específicamente, con la expansión de la población y el crecimiento económico, la demanda de energía seguirá incrementando en todo el mundo, por lo que la energía procedente de fuentes renovables ocupará un lugar fundamental. Un ejemplo es Túnez, donde el gobierno fomentó la energía solar haciendo que los calentadores solares de agua (CSA) también puedan por el subsidio de energía que antes sólo servía para el GLP. En 2008, Prosol ya había contribuido a evitar la emisión de 214,000 toneladas de dióxido de carbono, lo que ha planteado la posibilidad de que se pague a Túnez las emisiones ahorradas en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio. El éxito ha dado lugar a un programa de calentamiento de agua con energía solar para casas en Montenegro y a EGY SOL, un proyecto destinado al sector turismo y servicios en Egipto. (PNUMA, Obteniendo paneles solares para agua caliente, 2010)

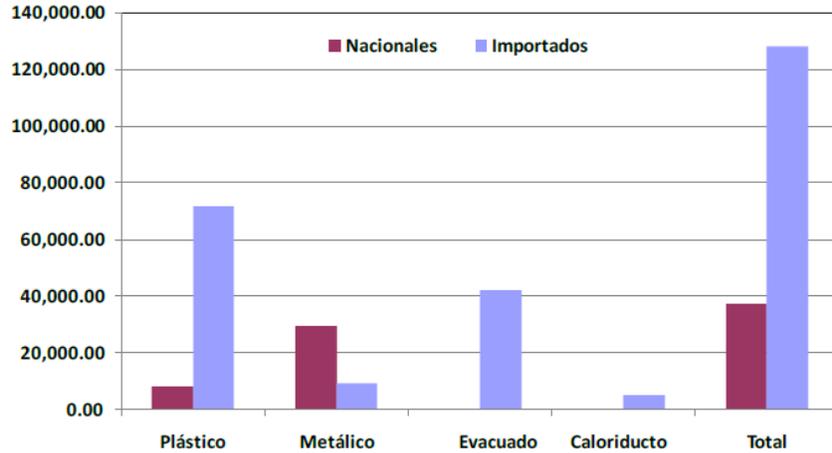
Algunos esfuerzos en la materia se han desarrollado en México, como el Programa para la Promoción de Calentadores Solares (Procalsol) por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), en colaboración con la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GIZ por sus siglas en alemán) y la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES); la Iniciativa para la Transformación y el Fortalecimiento del Mercado de CSA de PNUD/CONUEE; la Hipoteca Verde, un producto del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) y el subsidio “Esta es tu Casa” de CONAVI buscan impulsar el mercado mexicano de CSA a partir de experiencias y lecciones aprendidas en otros países.

Para el año 2008, las mayores ventas anuales de calentadores solares de agua en México se concentraron en el mercado de piscinas (46%). Sin embargo, el mayor porcentaje de crecimiento del mercado, en los últimos años, corresponde al sector doméstico (32%).



**Figura 2.15 Superficie instalada en México por segmentos de mercado en el 2008. (CONUEE/GTZ/ANES, 2009)**

En México, el tipo de CSA más vendido (49%) es el colector de plástico, típicamente usado para aplicación en piscinas a temperaturas bajas. En los sectores domésticos e industriales, los tipos más usados son de tubos evacuados seguidos por metálicos. En cuanto a producción local e importación, México importa la mayor parte de los CSA. La industria local produce sobre todo colectores metálicos. La Figura 2.16 muestra un panorama de las cantidades de metros cuadrados de CSA importados y nacionales por tipo de tecnología. (CONUEE/GTZ/ANES, 2009)



**Figura 2.16** Cantidades de CSA importados/nacionales por tecnología (CONUEE/GTZ/ANES, 2009)

De acuerdo a las estimaciones realizadas por ENTE, el costo mensual estimado de las alternativas según el tipo de crédito para marzo 2007 se muestran en la Tabla 2.1. En términos de retorno de la inversión, el período simple de retorno es de tres a cinco años, según el combustible que se sustituya.

**Tabla 2.1** Costo mensual de las alternativas según tipo de crédito (marzo 2007).

Fuente: Estimaciones de ENTE, S.C.

Alternativa	Tarjeta de Crédito	Fonacot	Crédito Hipotecario
Solar	\$255.86	\$198.08	\$152.85
Gas LP	\$337.55	\$337.55	\$337.55
Gas Natural	\$196.41	\$196.41	\$196.41

### 2.3.2 Energía Geotérmica

El gradiente térmico que resulta de las altas temperaturas del centro de la Tierra (superiores a 1000 ° C), genera una corriente de calor hacia la superficie, corriente que es la fuente de la energía geotérmica que es aprovechada para generar electricidad. A nivel mundial, México ocupa el tercer lugar en capacidad de generación de energía geotérmica con 960MW y de acuerdo con la CFE existe un gran potencial geotérmico que podría permitir la instalación de 2400 MW más.



Figura 2.17. Central Geotérmica “Los Húmeros”

### 2.3.3 Energía eólica

La energía del viento es provocada por el calentamiento diferencial de la atmósfera por el Sol, y las irregularidades de la superficie terrestre. Con la ayuda de los aerogeneradores podemos aprovechar este tipo de energía transformando la energía cinética del viento en energía mecánica la cual hace rotar una flecha que está acoplada a un generador que produce energía eléctrica.



Figura 2.18 Central Eoloeléctrica “La Venta”

Su uso para fines de electrificación en zonas aisladas y dispersas es muchas veces la opción más económica, sí, y solo sí, se cuenta con el recurso eólico apropiado. Hay factores importantes a considerar antes de instalar un aerogenerador

- **Velocidad del viento:** La potencia de generación varía según el cubo de la velocidad del viento, si el viento que incide en una turbina se duplica, la potencia generada es ocho veces mayor, los aerogeneradores requieren una velocidad de viento mínima para empezar a generar

energía, para las pequeñas turbinas este valor es de 3.5 metros por segundo (m/s).

- **Características topográficas locales:** Ya que la superficie terrestre influyen de manera significativa en los vientos, ya sea la flora y fauna del lugar, así como los edificios o estructuras creadas por el hombre. La turbulencia creada por estos objetos reduce la eficiencia de cualquier turbina, por ello se recomienda instalar las turbinas en el lugar más despejado posible.

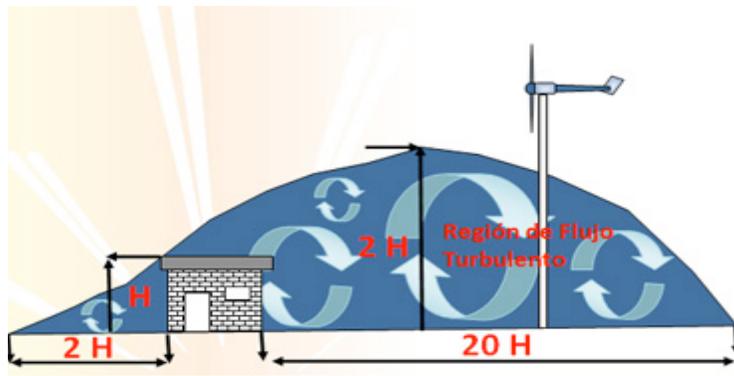


Figura 2.19 Recomendaciones para instalar aerogeneradores (Alternativa Energética)

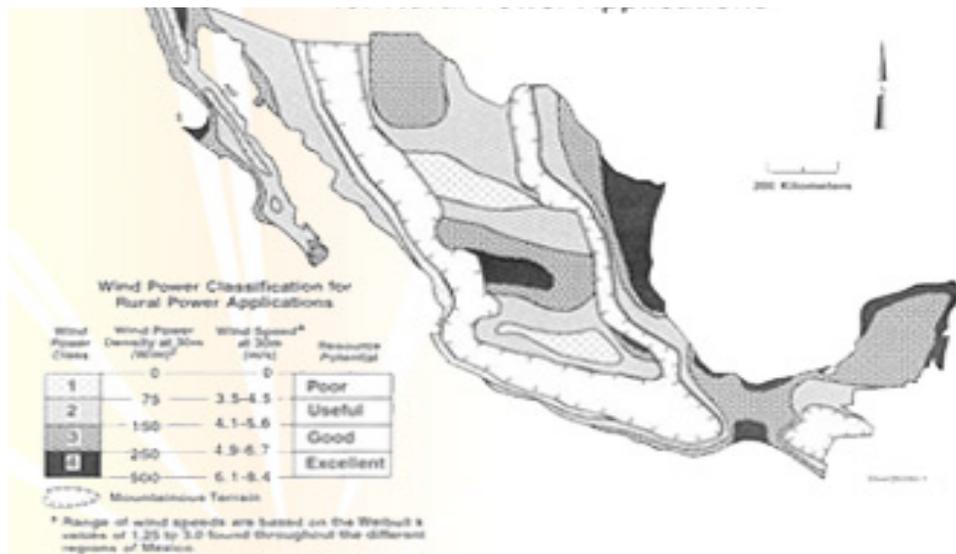


Figura 2.20 Estimación preliminar del recurso eólico disponible en México (Alternativa Energética)

La Figura 2.20 es una estimación preliminar del recurso eólico disponible en México y son datos estimados a una altura sobre el nivel del piso de 30 metros. Actualmente, este tipo de energía es una de las más competitivas. En México ya se han realizado algunos proyectos en Baja California y en Oaxaca de 0.6MW y 1.6MW respectivamente. Este recurso renovable tiene en México un

gran potencial que se estima supera los 5000 MW. También en México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene una planta híbrida en San Juanico, Baja California Sur, que emplea sistemas fotovoltaicos y eólicos. (SMADF Vazquez, 2008)

#### **2.3.4 Biomasa**

Se utiliza la materia orgánica como energético ya sea por combustión directa o mediante su conversión en combustibles gaseosos como el biogás o líquidos como bioetanol o biodiesel. En México se tiene un alto potencial bioenergético (superior a los 3000 MW) a través del aprovechamiento de millones de toneladas de residuos agrícolas y forestales, residuos sólidos urbanos, estiércol y bagazo de caña. Ejemplos de aplicación directa podemos mencionar la central en Monterrey que aprovecha el biogás liberado por un relleno sanitario para generar energía eléctrica con una capacidad de 7MW.

#### **2.3.5. Energía Hidráulica**

La energía hidráulica se genera a partir de la energía potencial asociada a las caídas de agua y a la diferencia de alturas entre dos puntos en el curso de un río. Esta energía se transforma en energía eléctrica en grandes centrales hidroeléctricas. Particularmente, México es un país con una alta precipitación pluvial (principalmente en el sur). Existen plantas minihidráulicas en los Estados de Veracruz, Guerrero, Jalisco, Colima, Michoacán y Durango con capacidad de 8-30MW.



## **2.4 Sistemas híbridos para la generación energética**

Se consideran los sistemas híbridos cuando se incluye la generación energética con energías renovables aún con el respaldo de la generación convencional. A continuación se mencionan algunas aplicaciones específicas de las energías renovables técnica y económicamente posibles en la actualidad, por tipo de usuario (CONUEE, LAS ENERGÍAS RENOVABLES en México y en el Mundo , 2010):

### **2.4.1 Residencial**

- Generar electricidad para usos múltiples (fotoceldas y generador eólico)
- Calentar agua para los baños y la cocina (colectores solares planos)
- Calentar el agua de una alberca (colectores solares planos)
- Calentar el aire para los espacios interiores en tiempos de frío (colectores solares)
- Cocción de alimentos (biomasa y estufas solares)
- Acondicionamiento de aire (fotoceldas y enfriadores solares)

### **2.4.2 Industria**

- Generar electricidad para usos múltiples (minihidráulica, eólica, fotoceldas)
- Precalentamiento de agua y de otros fluidos (colectores solares planos y de concentración)
- Procesamiento de alimentos (colectores solares planos y de concentración)

### **2.4.3 Comercios y servicios**

- Generar electricidad para usos múltiples (fotoceldas y generadores eólicos)
- Alimentar pequeños refrigeradores para conservación de medicinas en hospitales rurales (fotoceldas)

### **2.4.4 Municipios**

- Generar electricidad para usos múltiples (minihidráulica, eólica, fotoceldas, biomasa)
- Destilación de agua en regiones aisladas junto al mar (destiladores solares)

### **2.4.5 Comunicaciones y transporte**

- Señalización de carreteras (fotoceldas)
- Aplicaciones de señalización con boyas en el mar (fotoceldas)
- Sistemas de telecomunicación, tales como: estaciones repetidoras, microondas, telefonía aislada, sistemas de redes, sistemas portátiles de comunicación, etc. (fotoceldas)
- Utilización de biocombustibles a base de alcohol para el transporte (biomasa)
- Utilización de pequeños vehículos solares o híbridos (fotoceldas)

#### **2.4.6 Agricultura, ganadería y pesca**

- Bombeo de agua para riego (eólica, fotoceldas)
- Secado de granos, hierbas, pescado y, en general, productos perecederos (calentadores solares)
- Sistemas de desalinización y purificación de agua (calentadores solares)
- Precalentamiento de agua y otros fluidos (calentadores solares)
- Refrigeración solar para enfriamiento y producción de hielo (refrigeración solar)

### **2.5 Vivienda**

La vivienda es una necesidad básica que provee seguridad considerada como elemento clave para el combate a la pobreza. México ha tenido un incremento significativo en la construcción de vivienda social, ha superado el otorgamiento de créditos detonando la construcción de desarrollos habitacionales. (CONAVI, 2011) Existe un gran reto de satisfacer la demanda de vivienda en los próximos años, el desarrollo sustentable aplicado en la vivienda se traduce una estrategia que consolide criterios de sustentabilidad, cambio en las técnicas de construcción, modificación de costumbres de usuarios y desarrolladores reflejadas en prácticas medibles al planificar el ahorro energético y reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la vivienda. (CONAFOVI, 2006).

### **2.6 Vivienda Sustentable en México**

Una vivienda sustentable contempla la ubicación, habitabilidad de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar e integración al entorno urbano considerando una infraestructura y un equipamiento urbano adecuados, la disponibilidad y uso eficiente de la energía y el agua, el uso de energías renovables y la gestión integral de residuos urbanos. (CONAVI, 2010).

En México, de acuerdo a las características para las Viviendas del Programa de Esquemas de Financiamiento como “Hipoteca Verde” de Infonavit y el Subsidio Federal para Vivienda “Esta es tu Casa” se definieron los criterios a considerar para las viviendas sustentables a fin de impulsar los desarrollos habitacionales sustentables. (CONAVI, 2011). Los criterios mínimos a considerar según los temas y tipos de vivienda se presentan en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Criterios según temas y tipos de Vivienda (CONAVI, 2010)**

	Vivienda unifamiliar	Vivienda no unifamiliar
<b>Ubicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No esté en zona de riesgo</li> <li>- Cuento con servicios municipales</li> <li>- Radios de acción a equipamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acorde con el Programa de Desarrollo Urbano</li> <li>- A 3 km de una escuela primaria</li> <li>- De 3 niveles en adelante</li> </ul>
<b>Agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inodoro ahorrador</li> <li>- Regadera ahorradora</li> <li>- Válvulas</li> <li>- Prueba hidrostática</li> <li>- Medidor de flujo</li> <li>- Toma domiciliaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inodoro ahorrador</li> <li>- Regadera ahorradora</li> <li>- Válvulas</li> <li>- Prueba hidrostática</li> <li>- Toma domiciliaria</li> </ul>
<b>Residuos Sólidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenedores</li> <li>- Botes de basura en la vivienda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenedores</li> </ul>
<b>Mantenimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual de mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reglamento de Condominios</li> <li>- Manual de mantenimiento</li> </ul>
<b>Eficiencia energética</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lámparas ahorradoras</li> <li>- Calentador solar-gas</li> <li>- Calentador de paso</li> <li>- Aislamiento térmico</li> <li>- Acabado reflejante en techos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lámparas ahorradoras</li> <li>- Calentador de paso</li> </ul>

### **2.6.1 Ubicación**

Precisando sobre la ubicación, las viviendas unifamiliares son aquellas construidas en lotes individuales y que pueden ser aisladas o parte de los Desarrollos Habitacionales. La vivienda aislada está construida en lotes individuales que puede estar ubicada en una zona urbana consolidada (que cuenta con servicios e infraestructura), o bien en nuevos Desarrollos Habitacionales que ya cuenten con servicios. (CONAVI, 2010)

Como parte esencial del análisis del sitio para ubicar el desarrollo habitacional, es necesario considerar que:

- la infraestructura debe estar conectada a la red de agua potable y a la red de alcantarillado sanitario. Construcción del sistema de drenaje pluvial y de la red eléctrica y alumbrado público completo.
- Radios de influencia a vialidad, transporte, comercio, escuela, salud, deportivo-recreativa, cultural y seguridad.
- Vialidades pavimentadas para acceso considerando el número de habitantes
- no se encuentre en zona de riesgo
- Dependiendo de la región en la que se encuentre considerar la gran variedad de bioclimas identificados en México.

### **2.6.2 Agua**

En promedio una familia con cinco integrantes consume 30 m<sup>3</sup> mensuales. La contribución de cada vivienda a la reducción del consumo debe considerar el uso eficiente del agua al instalar llaves ahorradoras, regaderas compensadoras de flujo, el inodoro con consumo certificado máximo de 6L por descarga así como implementar la tubería para la captación de aguas pluviales así como reutilizar las aguas grises. Todo lo anterior permite ahorrar alrededor de un 40% del agua que se consume sin restar confort al usuario. (CONAFOVI, 2005)

### **2.6.3 Residuos Sólidos**

En México, la proporción de la composición de los residuos ha cambiado significativamente en las últimas décadas. Por ejemplo, en la década de 1950 el

porcentaje de residuos orgánicos en la basura era del 65 al 70%; mientras últimamente su proporción es entre 50 y 55%. De acuerdo a las Tablas 2.3 y 2.4 de SEDESOL para el año 2004, en el país el 53% de los RSU son de tipo orgánico, en tanto que el 28% son potencialmente reciclables como el papel y cartón (14%), vidrio (6%), plásticos (4%), hojalata (3%) y textiles (1%). El 19% restante son residuos de madera, cuero, hule, trapo y fibras diversas (fuente), materiales parcialmente reciclables aunque con mayor grado de dificultad. (INE, 2004)

**Tabla 2.3 Proyección de la generación per cápita y total de RSU 2004-2020.**  
**(1. Proyecciones de Población, 2000-2050. CONAPO, México, 2003.**  
**2. Secretaría de Desarrollo Social, 2004)**

Año	Número de habitantes (miles)	Generación Kg/hab/día	Toneladas diarias	Toneladas anuales (miles)
2004	105,350	0.90 <sup>2</sup>	94,800 <sup>2</sup>	34,600 <sup>2</sup>
2005	106,452	0.91	96,900	35,370
2010	111,614	0.96	107,100	39,100
2015	116,345	1.01	117,500	42,890
2020	120,639	1.06	128,000	46,700

**Tabla 2.4 Composición de las fracciones principales de los RSU, 2004.**  
**(Secretaría de Desarrollo Social, 2004)**

Tipo de residuos	Porcentaje
Orgánicos	53
Potencialmente reciclables	28
Otros	19
Total	100

Para el manejo adecuado de los residuos sólidos generados en el conjunto habitacional se considera un mobiliario para separación de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos). La capacidad sugerida calcula 5 litros por habitante por día considerando 3 litros de inorgánica y 2 litros de orgánica, multiplicando por tres días considerando almacenamiento. El mobiliario debe tener tapa superior, ubicarse en un área ventilada y accesible para la recolección.

### 2.6.4 Mantenimiento

Un manual de mantenimiento debe considerarse como parte de las acciones programadas del desarrollo habitacional detallando las instrucciones precisas para la operación y mantenimiento de los equipos, instalaciones, impermeabilización, entre otras. (CONAVI, 2010)

### 2.6.5 Consumo energético

Un elemento crítico en el costo de la vivienda es la energía. La eficiencia energética busca los medios para que la energía consumida en la prestación de cada servicio. El buen uso de la energía también trae consigo los siguientes beneficios ambientales:

- Menor número de plantas hidroeléctricas que implica menor deforestación
- Disminución en la generación de energía nuclear equivale a menos radiaciones y menos riesgos
- Menos termoeléctricas que implica menos contaminación y emisiones de CO<sub>2</sub>

Para tener una idea más clara en relación a los usos de energía en la vivienda se distribuyen principalmente en la cocción de alimentos, calentamiento de agua y la iluminación y uso de electrodomésticos.

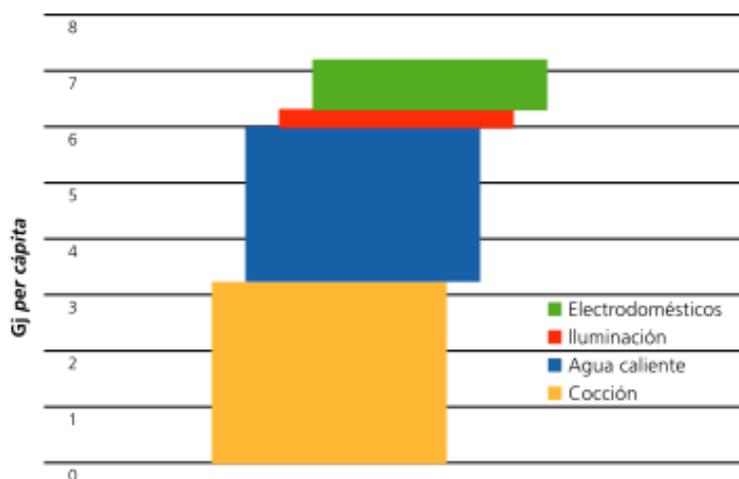
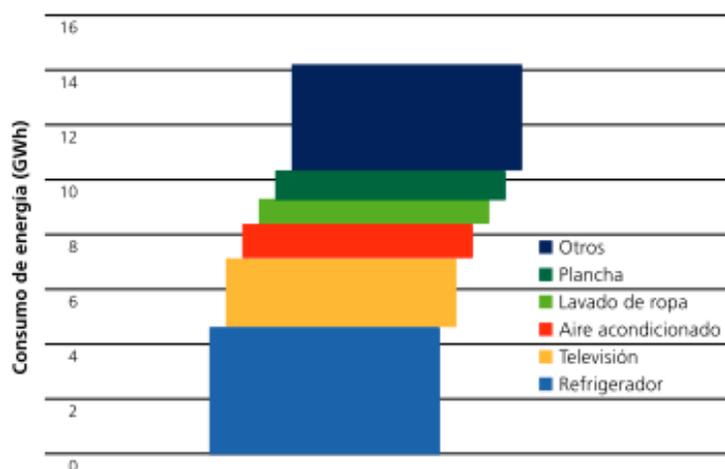


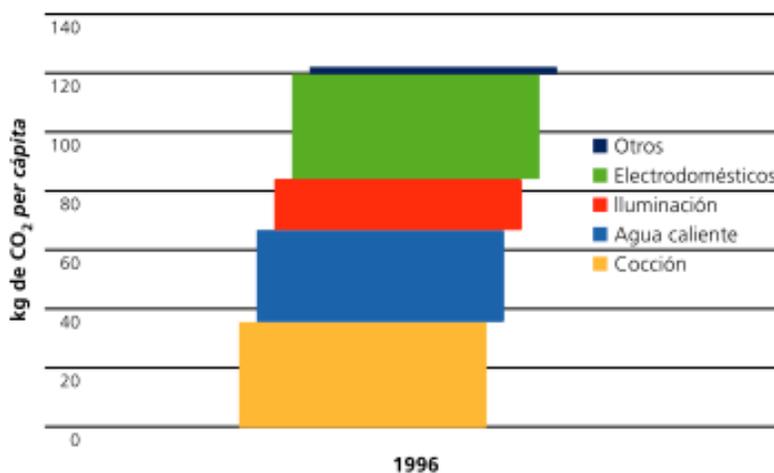
Figura 2. 22 Usos de energía en la vivienda per cápita en México (por usos finales) (CONAFOVI, 2006)

Los consumos promedios de electricidad en específico por el uso de aparatos electrodomésticos usados en la vivienda se presentan a continuación.



**Figura 2. 23 Usos de electricidad por aparatos electrodomésticos en la vivienda de México. (CONAFOVI, 2006)**

Las necesidades de energía se relacionan principalmente con las emisiones de GEI derivadas de la producción de energía eléctrica pero de acuerdo con datos de 1996, estas están al mismo nivel que las de cocción de alimentos y el calentamiento de agua.



**Figura 2. 24 Emisiones de dióxido de carbono en las viviendas mexicanas (CONAFOVI, 2006)**

## 2.7 Evaluación de la sustentabilidad de la Vivienda en México

En 2012, el Centro Mario Molina desarrolló un *Índice de Sustentabilidad de la Vivienda y su Entorno (ISV)* el cual fue aplicado en 35 conjuntos habitacionales

de vivienda de interés social en las zonas metropolitanas de Tijuana, Monterrey, Valle de México y Cancún.

La evaluación de ISV se realizó con ciertos indicadores a considerar para identificar algunos indicadores en común con la metodología propuesta para la sustentabilidad energética en la vivienda que es el tema de estudio de este trabajo. A continuación se enlistan los indicadores que utiliza el ISV para analizar las tres dimensiones de la sustentabilidad:

### **Índice ambiental:**

- Uso de suelo
- Abastecimiento de agua
- Abastecimiento de energía
- Ecotoxicidad
- Formación de oxidantes fotoquímicos
- Cambio Climático
- Toxicidad humana
- Acidificación Eutrofización
- Manejo y disposición de residuos sólidos

### **Índice Económico**

- Variación en el gasto familiar
- Ahorros por la implementación de tecnologías
- Gastos de vivienda como porcentaje del ingreso
- Gasto de transporte como porcentaje de ingreso
- Formación de patrimonio
- Plusvalía

### **Índice Social**

- Variación de los espacios
- Adecuación de los espacios
- Influencia del tamaño de los espacios en las relaciones familiares
- Calidad de los materiales
- Índice de hacinamiento
- Variación en el entorno
- Suficiencia de equipamiento urbano
- Organización de los vecinos
- Espacios públicos
- Convivencia social
- Administración vecinal
- Índice de Rezago Social (IRS)
- Variación en los servicios de transporte
- Tiempo de transporte

Los resultados del diagnóstico determinan que existe una sustentabilidad media-baja en la vivienda de interés social con 41 a 48 puntos en la escala de 0 a 100 derivado de una normatividad nacional en el sector aún en proceso de

maduración y por contribuir a la expansión de las “manchas urbanas” en México. (Centro Mario Molina, 2012)

Principalmente, el gasto en vivienda y transporte conlleva un peso significativo en el presupuesto familiar destinando el 40% de sus ingresos a estos rubros. Como parte de la evaluación se mencionan algunas recomendaciones para el sector como son:

1. En el ámbito ambiental: diseñar viviendas y conjuntos habitacionales contemplando los flujos de agua y energía de la región así como integrar el aislamiento térmico a través de materiales verdes.
2. En el ámbito económico: fomentar la infraestructura para la movilidad no motorizada así como un transporte público con precios controlados contribuyendo a la economía familiar y plusvalía de la vivienda.
3. En el ámbito social: fomentar el pago de cuota de mantenimiento a través del crédito hipotecario para la administración profesional en los conjuntos habitacionales.
4. Ubicación: crear mecanismos financieros y programas específicos para la redensificación interior urbana evitando los cambios de uso de suelo aprovechando la infraestructura existente.
5. Usos mixtos: Implementar reformas normativas, diseños urbanos, adaptar las políticas públicas e inversiones a las características de cada metrópoli.

## **2.8 Eficiencia energética en una vivienda sustentable**

Una vivienda sustentable hace uso eficiente de la infraestructura existente, de la energía, el agua, los materiales y el suelo. Ello, no solo para ahorrar recursos financieros, sino también para salvaguardar la salud, hacer una casa más confortable y proteger el medio ambiente y los recursos naturales. La producción de vivienda utiliza el recurso energético para fabricar los materiales, para transportarlos y para el proceso mismo de edificación. Adicionalmente, la electricidad es el tipo de energía que más se relaciona con el consumo energético en la vivienda, debido al uso de los electrodomésticos y a los equipos de iluminación y de climatización. (CONAFOVI, 2006)

En el uso eficiente de energía es necesario considerar:

- Uso de lámparas de uso residencial, tanto como interior como exterior
- Sistema de calentamiento solar-gas de agua (híbrido)

- Aislamiento térmico: uso de materiales aislantes en techos, muros de mayor insolación, en losas planas o inclinadas con textura lisa usar acabado reflejante o en losas inclinadas, emplear teja o palma seca principalmente en bioclimas cálidos.

## 2.9 Uso de sistemas híbridos de generación energética en la vivienda

Para lograr un suministro energético confiable en una vivienda, se considera un sistema híbrido viable que utilice fuentes distintas de generación energética a partir de energías renovables considerando la interconexión a las fuentes de generación convencionales complementando como un respaldo (Alternativa Energética) (CONUEE, LAS ENERGÍAS RENOVABLES en México y en el Mundo , 2010):

- Generar electricidad para usos múltiples (fotoceldas y generador eólico, ver las Figuras 2.25, 2.26 y 2.27)
- Calentar agua para los baños, la cocina y albercas (colectores solares planos)
- Calentar el aire para los espacios interiores en tiempos de frío (colectores solares)
- Cocción de alimentos (biomasa y estufas solares)
- Acondicionamiento de aire (fotoceldas y enfriadores solares)



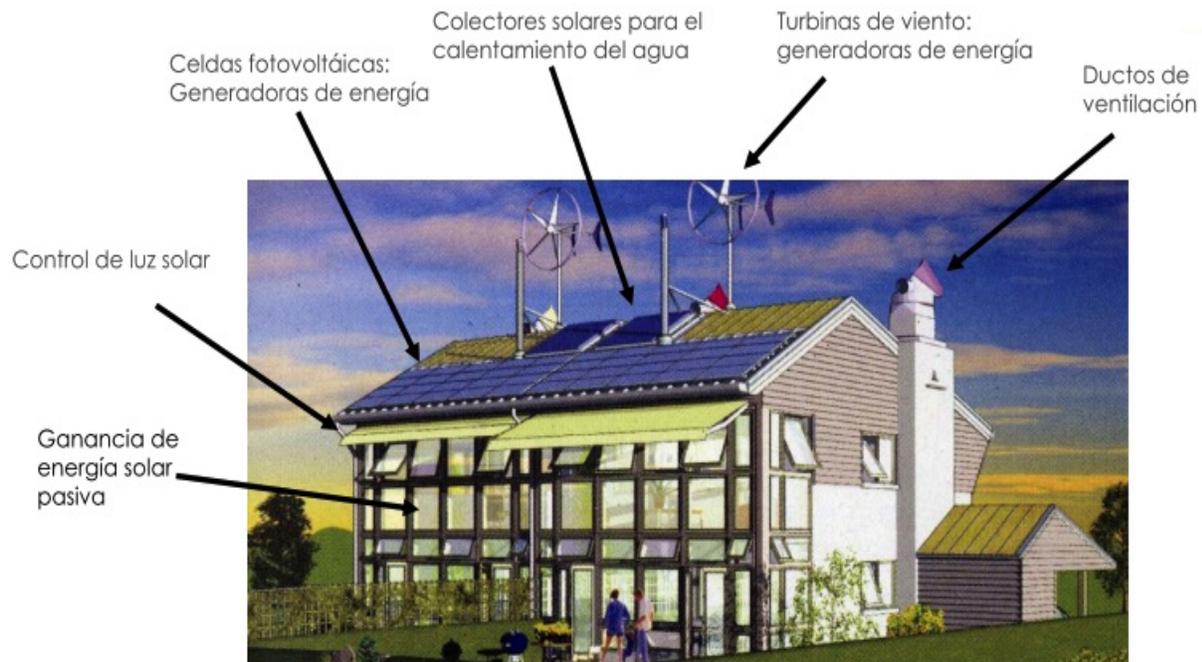
Figura 2.25 Sistemas híbridos eólicos-solares  
(Fuente: [www.bornay.com](http://www.bornay.com))



Figura 2.26 Sistemas híbridos solares-gas LP o natural

(Vázquez Martínez, Del Valle Cárdenas, Lino Linares, & López Saldivar, 2008)

En la Figura 2.27 se presenta una visualización integral de suministro energético híbrido que implica un diseño sustentable de la vivienda considerando la energía solar (paneles fotovoltaicos, colectores solares para calentar el agua), la energía eólica, aislamiento y diseño bioclimático.



**Figura 2. 27 Ejemplos de estrategias para el gasto de energía (Kotecki, 2008)**

En la actualidad, a nivel internacional se han desarrollado buenas prácticas en el área habitacional en los sistemas híbridos de generación energética interconectados al suministro convencional. En la Figura 2.28, se presenta un ejemplo en la ciudad de Freiburg, Alemania en donde se han desarrollado conjuntos habitacionales interconectados a la red eléctrica y con autonomía térmica que reduce el consumo energético del sector residencial en hasta un 75%.

En México, se han replicado éstas prácticas en muchos desarrollos habitacionales nuevos en los cuales están incluyendo la instalación de calentadores solares de agua y dispositivos ahorradores como requisitos mínimos de construcción fortaleciendo el suministro energético tanto para el área eléctrica como térmica en los conjuntos habitacionales.



**Figura 2.28 Conjuntos habitacionales del proyecto Vauban en Freiburg, Alemania con sistemas híbridos de calentamiento solar y paneles fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica.**

## **2.10 Normatividad vigente**

Para el año 2009, al menos 83 países cuentan con algún tipo de política pública que fomenta la generación de energía renovable. (REN21, 2010). Una de las políticas energéticas más exitosa en otros países ha sido la regulación en el aislamiento (CONAFOVI, 2006). En México existe una legislación ambiental sólida que va alineada al Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 el cual incluye a la sustentabilidad como eje transversal en los objetivos, metas y acciones del gobierno mexicano.

En el sector energético, como parte del compromiso con la comunidad internacional para fomentar el uso de energías renovables y la eficiencia energética se aprobó en 2008 la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) y la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de Energía (LASE). En los términos de la LAERFTE, el aprovechamiento de las Energías Renovables puede realizarse en los supuestos de autoconsumo o en la incorporación de la energía eléctrica a la red nacional para el consumo general. Dichas leyes fortalecen el marco institucional y la eficacia transversal del aprovechamiento de las energías renovables (USAID-ITAM, 2010).

Respecto al cambio climático, México ha traducido las iniciativas a programas de acción y estrategias. En 2009, se presentó el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 el cual considera las acciones para fomentar la mitigación de cambio climático a corto plazo asegurando la competitividad económica. En 2012, se aprobó la Ley General de Cambio Climático que fomenta la vinculación institucional en los tres niveles de gobierno mencionando lineamientos a seguir para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Durante la pasada 18ª Conferencia de las Partes (COP18) de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático celebrada en Doha, Qatar en 2012 se presentó la Quinta Comunicación Nacional la cual menciona el incremento de acciones y estudios en materia climática en todas las facetas de la actividad nacional.

En cuanto a la edificación, el gobierno federal a través de la Comisión Nacional de Vivienda desarrolló el Código de Edificación de Vivienda (CEV) el cual regula y promueve la edificación de vivienda sustentable, estableciendo los criterios mínimos para reducir los impactos negativos en el medio ambiente. (CONAVI, Código de Edificación de Vivienda, 2010) También se han canalizado los esfuerzos en el diseño, instrumentación e implementación de mecanismos derivados de los acuerdos internacionales en Cambio Climático impulsando los Mecanismos de Desarrollo Limpio y Acciones de Mitigación Nacionalmente Adecuadas (NAMA, por sus siglas en inglés) de Vivienda y Urbana. (CONAVI, 2011)

# 3. Metodología

*“Ya es hora de dejar de planificar la eficiencia energética  
y empezar a planificar el impacto cero.  
Es hora de dejar atrás lo “verde” y  
adoptar un desarrollo sustentable auténtico”*  
Geof Syphers,  
*(Desarrollador de Sonoma Mountain Village,  
comunidad One Planet de California)*

### **3. Metodología para construir el modelo**

Después de exponer la base teórica para el diseño del modelo. En este capítulo se presenta la metodología para definir las variables utilizadas que determinaron el proceso de construcción del modelo de sustentabilidad energética.

#### **3.1 El modelo como representación del sistema**

El sistema se utiliza con el propósito de abstraer la realidad para su estudio. Para establecer las variables a considerar en el modelo, se realizó una investigación exhaustiva de la literatura disponible y se platicó con algunos expertos en la materia.

El modelo a construir será del tipo adaptativo que agrupa dentro de un sistema auto-organizado orientado a generar alternativas de solución ante problemas que presenta el entorno del sistema. (Amozurrutia, 2007). A partir la revisión de la literatura, se han delimitaron los siguientes indicadores para el sistema. Las variables que forman parte de una subcategoría que da a lugar a un indicador global de sustentabilidad que a su vez proporciona un nivel de sustentabilidad del esquema híbrido propuesto. En la Figura 3.1 se presenta la conceptualización gráfica del sistema complejo la cual considera: dimensiones, categorías por dimensiones y tipología por bioclimas.

Al situarnos en un plano XYZ, podemos etiquetar en el eje X las dimensiones, en el eje Y están las categorías por dimensiones y en el eje Z encontramos la tipología por bioclimas. Dicha organización nos facilita el manejo de las variables y la interacción entre las mismas.

# Dimensiones

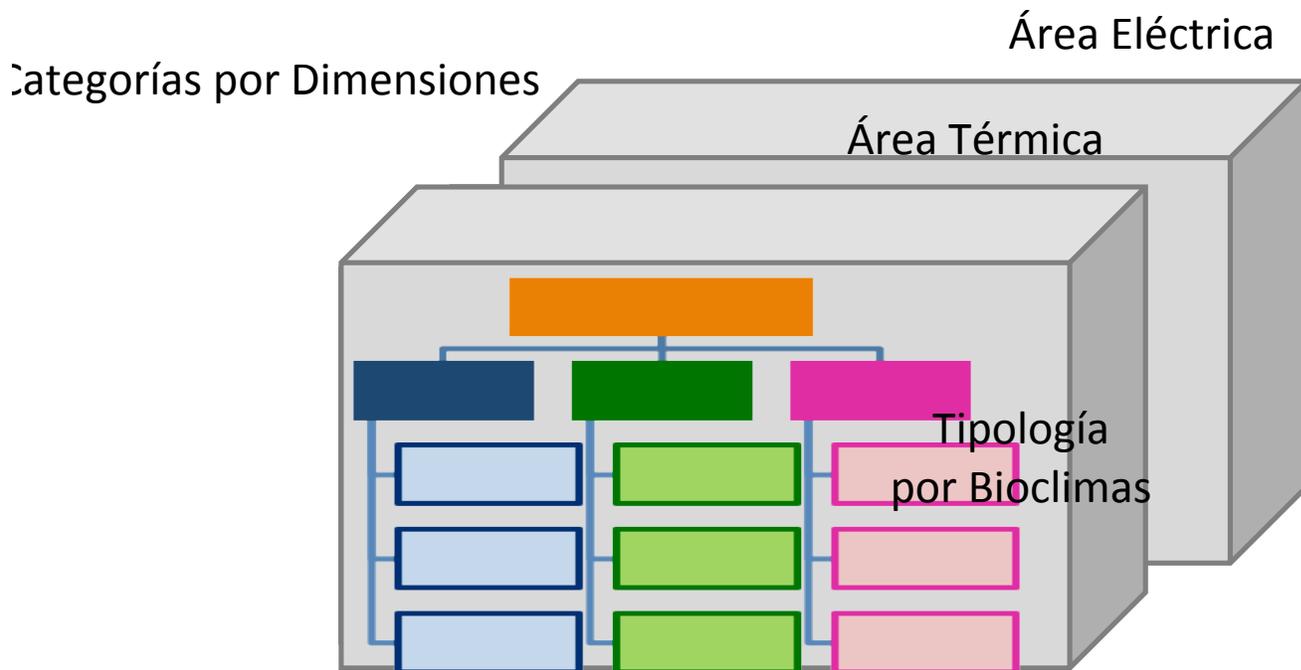


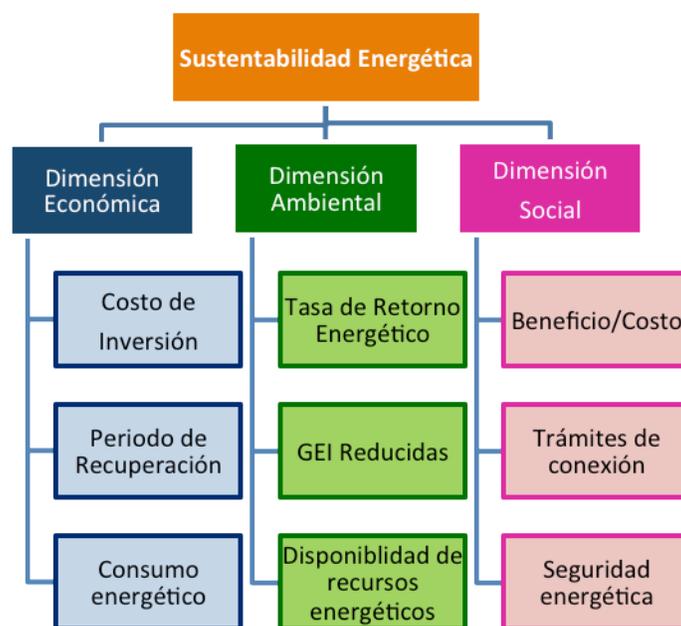
Figura 3 1 Conceptualización de los factores a considerar para la construcción del modelo de sustentabilidad energética.

## 3.2 Dimensiones y categorías por dimensiones

### 3.2.1 Definiciones

Para definir las tres dimensiones principales del modelo a partir de los cuales se desglosan los indicadores correspondientes que enlistamos a continuación y que se desglosan en la Figura 3.2 (Salgado & Altomonte, 2001):

- A. Dimensión económica**
- B. Dimensión ambiental**
- C. Dimensión social**



**Figura 3.2. Categorías por dimensiones consideradas en el modelo adaptativo**

Para cada dimensión se tienen tres categorías. En la Tabla 3.1 se presentan las definiciones para cada variable a continuación:

**Tabla 3.1 Variables y descripción de las mismas consideradas en el modelo**

<b>1</b>	<b>Costo de Inversión (USD)</b>	Este criterio incluye el costo de los materiales e instalación invertidos en la vivienda para el suministro energético.	Cálculos generados en los programas: ConaeFV2.0.xls y SolarDoméstico1 (Anexo 7.2)
<b>2</b>	<b>Periodo de recuperación (años)</b>	Es el periodo simple de retorno es de tres a cinco años, según el combustible que se sustituya.	Cálculos generados en los programas: ConaeFV2.0.xls y SolarDoméstico1 (PROCOBRE, 2007) (Anexo 7.2)
<b>3</b>	<b>Consumo energético</b>	El indicador se construye obteniendo el consumo energético de la vivienda.	
<b>4</b>	<b>Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidas:</b>	Se consideran la cantidad de emisiones reducidas por la instalación de otras fuentes de energías renovables. En el área térmica: La reducción de emisiones por cada kg de consumo evitado de gas LP es de 3 kg de CO <sub>2</sub> . Para el área eléctrica: se considera el factor Watt/CO <sub>2</sub> de 0.667	Cálculos con factores de la Conae y el IPCC, (PROCOBRE, 2007)
<b>5</b>	<b>Disponibilidad de reservas energéticas</b>	Considera los datos mundiales del número de años de reservas a la razón de producción presente. Los datos se tomaron del trabajo de Sin embargo, para las energías renovables se consideraron 10,000 años de reserva, para evitar que en este aspecto las renovables se vieran infinitamente mejores que cualquiera las	(Martin del Campo & Francois, 2008)

---

		opciones no renovables. De esta manera se compensa que aunque el recurso renovable, no se puede tener un potencial infinito de aprovechamiento.	
6	<b>Tasa de retorno energético (TRE)</b>	La Tasa de Retorno Energético (TRE) se calcula dividiendo la energía útil que dicho proceso nos retorna (ER) entre la energía útil (EI) que se invierte en desarrollar y mantener ese proceso de transformación $TRE=ER/EI$	(Ballenilla & Ballenilla, 2007/2008) Banco Mundial
7	<b>Beneficio/Costo (B/C)</b>	Esta variable analiza obtener los mejores beneficios con la menor inversión y por tanto eficiencia técnica. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto.	Cálculos generados en los programas: ConaeFV2.0.xls y SolarDoméstico1 (Anexo 7.2)
8	<b>Trámites de conexión</b>	de Tiempo para realizar los trámites de conexión para obtener el suministro energético (días)	Cálculos estimados del proyecto
9	<b>Seguridad Suministro Energético.</b>	en El indicador consiste en la cobertura de necesidades energéticas básicas. Eficiencia de transformación de energía final entregada en energía útil para cada energético: electricidad (0.8), GLP (0.4), gasolina, kerosene, diesel, fuel oil (0.35), GNat, otros gases (0.5), carbón mineral (0.2), leña, carbón vegetal (0.1), otras primarias (0.07)	CEPAL, Cálculos estimados del proyecto

---

Como se muestra en la Figura 3.2, la relación de variables se agrupan dentro de categorías de las disciplinas consideradas en el análisis del problema. Dicha agrupación puede ser configurada en dos o más niveles, dando pie al establecimiento de subcategorías. La construcción del esquema jerárquico de categorías responde a las posibilidades de unión de los componentes esenciales del modelo (Amozurrutia, 2007)

### 3.2.2 Tipología por bioclimas

En base a la Figura 3.1 enseguida, se ha considerado que la tipología de la demanda energética de una vivienda se engloba en dos principales áreas:

- A) Área eléctrica: donde analizaremos la generación energética por métodos convencionales como combustibles fósiles y con energías renovables (eco-tecnologías).**
- B) Área térmica: que incluye principalmente el calentamiento de agua por medios convencionales como gas natural o Gas LP y con eco-tecnologías como el uso de Calentadores Solares de Agua (CSA)**

**Tabla 3.2 Correlación entre las diferentes áreas consideradas en el modelo de sustentabilidad energética.**

<b>Escenarios</b>	<b>Area térmica</b>	<b>Area eléctrica</b>
Sin eco-tecnologías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Calentador convencional gas LP o natural</b></li> <li>• <b>Calentador convencional eléctrico</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Red eléctrica proporcionada por CFE</b></li> </ul>
Con eco-tecnologías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Calentador solar de agua</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Paneles fotovoltaicos</b></li> <li>• <b>Microgeneradores eólicos</b></li> <li>• <b>Biodigestores</b></li> </ul>
Con eco-tecnologías e instalación de dispositivos ahorradores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aprovechamiento de agua caliente en otros procesos.</b></li> <li>• <b>Aislamiento térmico</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lámparas ahorradoras</b></li> <li>• <b>Medidores de consumo</b></li> </ul>

Para el área eléctrica se integraron las categorías por dimensiones que dan a lugar a los diferentes escenarios:

1. Sin ecotecnología e instalación de dispositivos ahorradores
2. Solo la ecotecnología
3. Esquema híbrido Red/ecotecnología
4. Esquema híbrido Red/ecotecnología e instalación de dispositivos ahorradores

Para el área térmica se integraron las categorías por dimensiones que dan a lugar a los diferentes escenarios:

1. Sin ecotecnología Gas LP
2. Sin ecotecnología Gas Natural
3. Esquema híbrido GasLP/ecotecnología
4. Esquema híbrido Gas Natural/ecotecnología
5. Esquema híbrido GasLP/ecotecnología e instalación de dispositivos ahorradores
6. Esquema híbrido Gas Natural/ecotecnología e instalación de dispositivos ahorradores

Dentro de la tipología, se consideran las características en diversas regiones bioclimáticas que afectarían a un sistema energético. En México existen más de

**GOBIERNO** 28 millones de viviendas que se caracterizan por una alta heterogeneidad geográfica y socioeconómica.

**MODELO**

**SOCIEDAD**

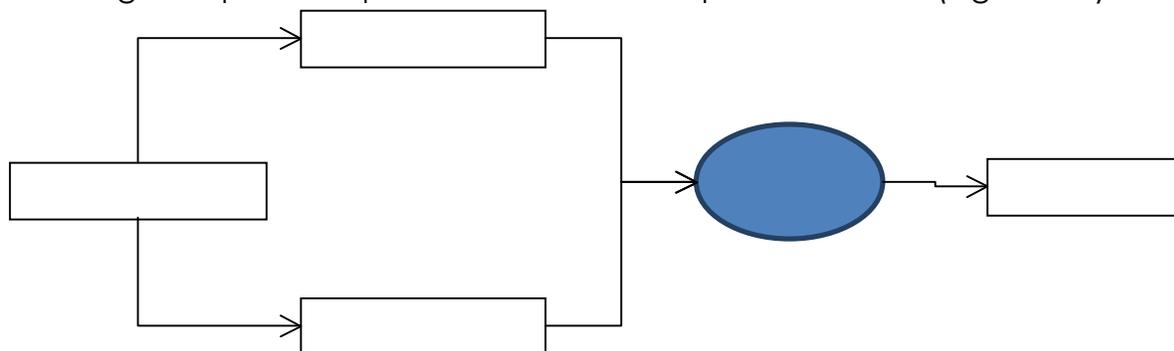
De acuerdo a **ACADEMIA** las regiones bioclimáticas, existen recomendaciones para mejorar las condiciones térmicas disminuyendo los requerimientos de sistemas de climatización como el aire acondicionado y en consecuencia, del uso de la energía eléctrica.

Con base en el estudio de bioclimas presentes en las diversas zonas ecológicas de México y de acuerdo a estudios de comportamiento solar, se identifican tres tipos de bioclimas: semifrío, templado y cálido, los cuales se derivan en función de la humedad en ambiente seco, semihúmedo y húmedo (CONAFOVI, 2006). En la Tabla 3.3 se presentan los diversos bioclimas de acuerdo a la zonificación ecológica en México así como las ciudades escogidas para este estudio:

**Tabla 3.3 Relación de bioclimas y ciudades escogidas para la construcción del modelo**

Cálido seco	<b>Mexicali</b>
Cálido semihúmedo	<b>Mérida</b>
Cálido húmedo	<b>Chetumal</b>
Templado húmedo	<b>Tepic</b>
Templado	<b>Guadalajara</b>
Templado seco	<b>Oaxaca</b>
Semifrío seco	<b>Zacatecas</b>
Semifrío	<b>Toluca</b>
Semifrío húmedo	<b>Xalapa</b>

Finalmente, al describir el problema, se procedió a definir los actores estratégicos que en el problema a simularse por el modelo. (Figura 3.3)



**Figura 3.3 Actores que intervienen en el modelo de sustentabilidad energética.**

### 3.3 Metodologías de energías renovables

A principios del año 2000, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). (antes Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía (CONAE)<sup>4</sup>) desarrolló dos metodologías consideradas una gran herramienta para considerar la viabilidad, son de acceso gratuito y pueden ser consultadas en línea. Ambas, se refieren al uso de la energía solar, una en sistemas fotovoltaicos y otra para el calentamiento de agua, las herramientas están calculadas con precios de ese mismo año. (CONUEE, 2000)



#### 3.3.1 Programa de evaluación técnica y económica para sistemas fotovoltaicos en el sector doméstico. (PROGRAMA ConaeFV2.0.xls)

Este programa permite diseñar el arreglo del sistema fotovoltaico de acuerdo a los dispositivos más comunes en el sector doméstico que pueden conectarse al sistema. Está desarrollado con la base de datos de radiación solar de un listado de 53 ciudades mexicanas y se puede escoger entre el inventario de dispositivos que se encuentran disponibles en cuatro grupos de aplicaciones principales: la cocina, la estancia, la iluminación y los servicios.

Los datos generales que se obtienen del programa son:

- **Ciudad:** Es la ciudad que usted ha seleccionado para efectuar su análisis.
- **Latitud:** Latitud de la ciudad en cuestión, se proporciona en grados y es positiva para localidades en el hemisferio norte.
- **Inclinación del arreglo:** Indica la inclinación que usted ha proporcionado para reorientar el arreglo fotovoltaico. Inicialmente ConaeFV2.0 sugirió una orientación ecuatorial para el arreglo, sin embargo el programa le proporciona la facilidad de modificar la orientación, misma que se muestra en este cuadro.
- **Arreglo actualizado:**
  - **Módulo:** Proporciona la marca y modelo del módulo fotovoltaico más adecuado para los requerimientos establecidos por el usuario.

---

<sup>4</sup> De acuerdo a lo establecido en el Artículo Quinto Transitorio de "La Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía", cuando las leyes, reglamentos, decretos acuerdos u otros ordenamientos jurídicos hagan mención a la **Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE)**, la referencia se entenderá hecha a la **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)**.

- **Horas de sol máximo:** Es el número de horas equivalentes en las que la radiación solar se proyecta sobre el arreglo fotovoltaico con una intensidad de 1000 w/m<sup>2</sup>. Este valor se actualiza según la modificación de la inclinación del arreglo.
- **Módulos por serie:** Proporciona el número de módulos que deben ser colocados en serie para formar el arreglo fotovoltaico.
- **Número de series:** Cantidad de series de módulos del arreglo.
- **Potencia total instalada:** Es la potencia nominal de un módulo, multiplicada por el número total de módulos.
- **Voltaje nominal:** Es el voltaje del arreglo, ConaeFV2.0 solamente proporciona diseños con voltajes nominales de 12 ó 24 V.
- **Corriente del arreglo:** Valor nominal de la corriente que entrega el arreglo correspondiente al voltaje establecido.
- **Precio aproximado:** Es el precio estimado del arreglo (sólo el arreglo). NOTA: este precio se obtiene a partir de medios electrónicos públicos y la Conae solamente los recopiló y actualizó en la base de datos de ConaeFV2.0.

A continuación se presentan las áreas de oportunidad a considerar en el área eléctrica de una vivienda:

- **Uso de electrodomésticos:**
  - Refrigeradores: Se estima que un refrigerador promedio consume anualmente entre 500 y 700 kWh por vivienda. Ahora existen algunos modelos que alcanza un consumo anual de 100 kWh
  - Televisión: En promedio, un televisor en México tiene una potencia entre 80 y 100 watts. Es posible obtener ahorros de hasta de 50% dependiendo el modelo y tamaño del aparato.
- **Iluminación:** Alrededor del 10% de la población mexicana carece de servicio eléctrico buscando cubrir las necesidades de iluminación con velas, leña y/o gas LP. La electricidad es la forma más eficiente de iluminación. Existen diversas formas de generación descentralizada mediante las energías renovables y dependiendo la región bioclimática pueden ser una alternativa viable. El ahorro de energía en la iluminación residencial constituye por lo menos un 14% de la demanda pico de electricidad y es posible alcanzar un 50 al 75% de ahorro al sustituir los focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas.

- **Aire acondicionado:** Un aparato de aire acondicionado por habitación tiene un consumo promedio de 1400 kWh al año. Las formas de disminuir el uso de energía para enfriar el ambiente son: aumentar la eficiencia de los aparatos que se utilizan para ello y/o aumentar el aislamiento de las casas y el uso de la energía solar pasiva mediante el diseño bioclimático por ejemplo al aislar el techo, es posible ahorrar un 35% en el consumo de electricidad.

### **3.3.2 Programa de Evaluación Técnico-Financiera para Sistemas Solares para Calentamiento de Agua en el Sector Doméstico**

El programa "Solar Domestico 1" realiza un análisis financiero al cálculo de un sistema fotovoltaico en un ciudad específica de la República. Ofrece al usuario una herramienta de fácil manejo la cual se alimenta por una serie de datos accesibles mediante un cuadro de diálogo.

El programa está alimentado por los datos de radiación del Instituto de Ingeniería de la UNAM, cuando el usuario introduce la ciudad para la que quiere calcular el colector, el Programa se dirige a la base de datos y localiza los niveles mensuales de radiación. Con esta información y el número de personas que disfrutarán del servicio, el programa calcula el sistema de colectores que se requiere, esto basado en un colector comercial típico. De esta manera el programa entrega la configuración adecuada al consultante por medio de un cuadro de resultados.

Paralelamente, el programa entrega una corrida financiera en el que se desglosan los pagos mensuales efectuados por el usuario en caso de que haya solicitado un préstamo bancario a una tasa de interés del "  $i\%$  " anual, así como el tiempo de recuperación de la inversión en función del gas LP ahorrado y la proyección de su costo en términos de la inflación actual.

En cuanto a las áreas de oportunidad para el área térmica en una vivienda:

- **Cocción con gas:** Actualmente el gas LP es el energético más predominando en la cocción de alimentos. Las estufas de gas LP o de gas natural más populares son aquellas con cuatro quemadores, con pilotos y horno. Los ahorros de energía que se pueden obtener va de un 10 al 40% al modificar el diseño en los modelos actuales así como en el proceso de cocinado disminuyendo las pérdidas de calor.

- **Cocción con leña:** En las comunidades rurales, la leña para la cocción de alimentos se utiliza la estufa de tres piedras con una eficiencia del 17%. Para promover la eficiencia una opción es sustituir la leña por combustible y otra es utilizar estufas de leña mejoradas.
- **Calentamiento de agua con gas:** El calentador de gas LP es el más utilizado en México. Consiste en un tanque de almacenamiento de agua caliente a partir de un quemador. Es posible obtener un ahorro de energía entre 10 y 20% al realizar acciones como: aislar el calentador y tubos de distribución; utilizar el encendido electrónico y aumentar la eficiencia de quemadores. También el uso de los calentadores de paso permiten el ahorro de 30 y 40% al evitar pérdidas por almacenamiento del agua caliente. Adicionalmente, el uso de regaderas más eficientes.
- **Sustitución de leña y Gas LP por energía solar:** Ante los incrementos constantes a los precios del gas natural y LP es rentable el calentamiento de agua mediante calentadores solares, una tecnología sencilla, de bajo costo y cuya recuperación de la inversión se obtiene entre 1.5 y 3 años. Su uso mixto (por ejemplo, solar y gas LP) constituye un potencial de ahorro mayor sin sacrificar la seguridad energética.

### 3.4 Metodología para la toma de decisiones

Los métodos de análisis multicriterio, también llamados *métodos de análisis con criterios múltiples*, tienen por objetivo proporcionar a los tomadores de decisión, herramientas que les permitan resolver un problema donde varios puntos de vista (criterios) donde no existe una decisión que sea la mejor simultáneamente para todos los puntos de vista. Los beneficios de los métodos Multicriterio, son que estos son simples, de fácil uso y proveen un camino eficiente para resolver problemas donde se deben considerar múltiples criterios. (Brans, 2002)

A continuación se describirá la metodología utilizada para el desarrollo del modelo que es PROMETHEE-GAIA a través de la cual se realiza un análisis multicriterio para la toma de decisiones del problema complejo como es la sustentabilidad que asocia tres dimensiones económicas, sociales y ambientales. Las variables involucradas en el problema complejo se representan en la siguiente ecuación:

1994, J.P. Brans and B. Mareschal further suggested tv  
OMETHEE V (MCDA including segmentation constrain

bajo la notación donde  $A$  es el número finito de alternativas posibles  $\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$  y como los criterios de evaluación  $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_j(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$ . Los datos básicos del problema multicriterio se distribuyen en la matriz de evaluación tal como se muestra en la Tabla 3.4. El procedimiento de PROMETHEE está basado en comparaciones de pares.

**Tabla 3.4 Matriz de evaluación (Brans, 2002)**

$a$	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	---	$g_j(\cdot)$	---	$g_k(\cdot)$
$a_1$	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	---	$g_j(a_1)$	---	$g_k(a_1)$
$a_2$	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	---	$g_j(a_2)$	---	$g_k(a_2)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\diagdown$	$\vdots$	$\diagdown$	$\vdots$
$a_3$	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	---	$g_j(a_i)$	---	$g_k(a_i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\diagdown$	$\vdots$	$\diagdown$	$\vdots$
$a_n$	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	---	$g_j(a_n)$	---	$g_k(a_n)$

Para la solución de un problema multicriterio depende no solo de los datos básicos incluidos en la matriz de evaluación sino también el tomador de decisión concluyendo no existe la mejor solución absoluta. Existe el factor de las preferencias individuales de cada tomador de decisión. La dominancia de la relación asociada al tipo de problema multicriterio se define como:

Las relaciones de dominancia asociadas con un problema multicriterio para cada  $(a,b) \in A$ :

$$\begin{cases} g_j(a) \geq g_j(b) \\ g_k(a) > g_k(b) \\ g_j(a) = g_j(b) \end{cases} \Leftrightarrow aPb$$

$$\begin{cases} g_s(a) > g_s(b) \\ g_r(a) < g_r(b) \end{cases} \Leftrightarrow aRb$$

**Figura 3.4 Relaciones de dominancia. (Brans, 2002)**

donde  $P$ ,  $I$  y  $R$  son la *preferencia*, *indiferencia* e *incomparabilidad*, respectivamente.

Por definición, una alternativa es mejor si la otra es al menos tan buena como la otra sobre todos los criterios. Si la alternativa es mejor que el criterio  $s$  y la otra resulta mejor que  $r$ , es imposible decidir cual es la mejor, se requiere mas información. Ambas alternativas son incomparables.

Cuando las alternativas que no son dominadas por ninguna otra entonces se llaman soluciones eficientes. La relación dominante es muy pobre en  $P$  e  $I$ . Cuando una alternativa es mejor que un criterio entonces es mejor en otro criterio. La incomparabilidad será para la comparación de pares resultando imposible decidir sin información adicional.

Los modelos de PROMETHEE están diseñados para comparar pares en la matriz de evaluación asociada. La información adicional requerida es:

1. Información entre los criterios: considera los factores de ponderación de importancia relativa a los diferentes criterios. Los factores de ponderación son números positivos e independientes de las unidades de medida de los criterios. Entre más alto sea el factor de ponderación, más importante será el criterio.
2. Información en cada criterio: se establece una estructura de preferencia basada en la comparación de pares. Cuando hay desviaciones mínima, el tomador de decisión asignará una preferencia mínima a la mejor alternativa e inclusive no darle una preferencia si se considera es una desviación insignificante. A mayor desviación, mayor será la preferencia. Los valores de preferencia variarán entre el valor de 0 a 1 en una función de preferencia. Esto significa que para cada criterio el tomador de

decisiones tiene en mente una función del tipo:  $P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)]$  donde

$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$  y, para la cual:  $0 \leq P_j(a, b) \leq 1$ . En el caso de que el criterio deba ser maximizado, ésta función daría la preferencia de a sobre b, debido a las desviaciones observadas entre sus evaluaciones sobre el criterio  $g_j(\cdot)$ . Ésta función debe tener la forma que indica la Figura 3.5.

allocating an intrinsic absolute utility to  
on each criterion. We strongly believe  
ding that way. The preference structure  
*comparisons*. In this case the deviation  
atives on a particular criterion is cons  
on-maker will allocate a small preferen  
ossibly no preference if he considers th  
ger the deviation, the larger the prefer  
that these preferences are real numbers  
that for each criterion the decision-mak

$$P_j(a, b) = F_j [d_j(a, b)] \quad \forall a, b \in A,$$

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$$

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1.$$

n to be maximised, this function is givi  
ed deviations between their evaluations

**Figura 3.5 Funcion de preferencia**  
(Mareschal & Brans, Promethee Methods)

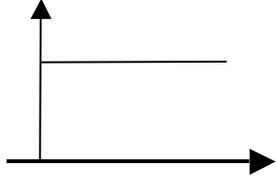
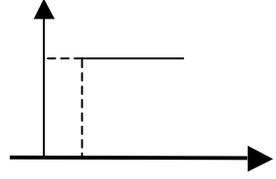
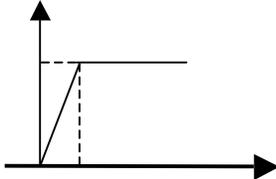
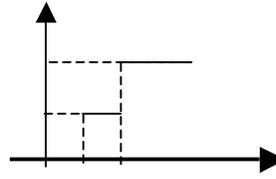
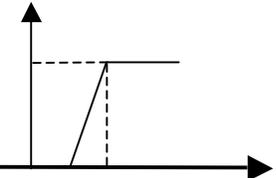
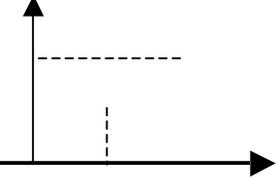
Para facilitar la identificación de los 6 tipos de funciones de preferencia se propone la Tabla 3.5. En cada caso 0, 1 o 2 son los parámetros a definir:

- $q$  es el umbral de indiferencia: desviación más grande que se considera insignificante por el tomador de decisiones.
- $p$  es el umbral de preferencia estricta: desviación mínima considerada como suficiente para generar preferencia amplia
- $s$  es el valor intermedio entre  $q$  y  $p$ , éste define el punto de inflexión de la función de preferencia. Se recomienda determinar primero  $q$  y  $p$ , para después obtener  $s$  como un valor intermedio entre estos parámetros.

1  
0.5

11 12 13

**Tabla 3.5 Tipo de los criterios generales (P(d): Función de preferencia)**  
(Mareschal & Brans, Promethee Methods)

Tipo de función	Forma de función	Definición	Parámetros necesarios
1		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	--
2		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
3		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
4		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
5		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
6		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

Dado que la metodología de PROMETHEE está basada en comparación de pares. Cuando la tabla de evaluación (Tabla 7.4) se haya construido, los pesos  $w_j$  y los criterios generalizados  $\{g_j(\cdot), P_j(a,b)\}$  estén definidos para  $i=1,2,\dots,n$ ;  $j=1,2,\dots,k$ , el procedimiento PROMETHEE puede ser aplicado.

Existe una clasificación I y II de PROMETHEE es necesario definir dos conceptos, índices de preferencia agregados donde  $a,b \in A$  y flujos de categoría superior.

$$\begin{cases} \pi(a,b) = \sum_{j=1}^k P_j(a,b)w_j \\ \pi(b,a) = \sum_{j=1}^k P_j(b,a)w_j \end{cases}$$

**Figura 3.6 Índices de preferencia de PROMETHEE.**

donde  $\pi(a,b)$  expresa el grado de preferencia de  $a$  hacia  $b$  respecto a los criterios y  $\pi(b,a)$ . Las siguientes propiedades se designan para todo  $(a,b) \in A$

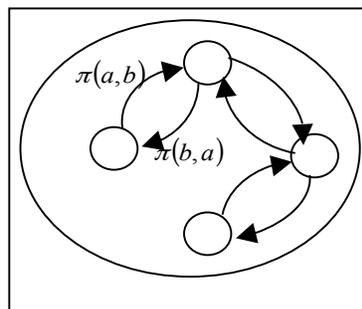
and criteria for which  $b$  is better than  $a$  usually positive. The following pro

$$\begin{cases} \pi(a,a) = 0, \\ 0 \leq \pi(a,b) \leq 1, \end{cases}$$

Si  $\pi(a,b) \sim 0$  implica una preferencia global débil de  $a$  sobre  $b$

Si  $\pi(a,b) \sim 1$  implica un preferencia global fuerte de  $a$  sobre  $b$

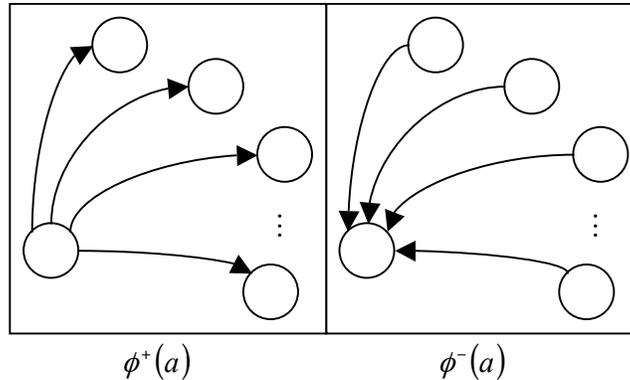
Una vez que  $\pi(a,b)$  y  $\pi(b,a)$  son calculados para cada par de alternativas de  $A$  ( $A$  =conjunto de alternativas) puede construirse una gráfica donde se representan los índices de preferencias agregadas de cada criterio.



**Figura 3.7 Gráfico de índices de preferencias agregadas. (Brans, 2002)**

Para definir el flujo parcial y global que correlaciona a los datos se tiene una calificación PROMETHEE I y II, respectivamente. PROMETHEE I es la intersección

a que se obtiene de los flujos parciales positivos  $\phi^+(a)$  y negativos ( $\phi^-(a)$ ). En la Figura 3.8 se muestran las representaciones gráficas de los flujos negativos y positivos. A mayor  $\phi^+(a)$  es mejor la alternativa mientras que a menor  $\phi^-(a)$  mejor es la alternativa.



**Figura 3.8 Los flujos parciales de PROMETHEE (Mareschal & Brans, Promethee Methods)**

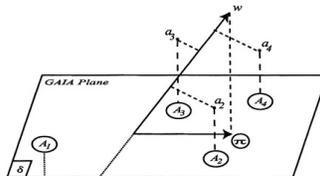
$\phi^+(a)$  expresa como una alternativa a es de categoría superior que todas las demás alternativas. Éste es su poder, su carácter dominante.

$\phi^-(a)$  expresa como una alternativa es de categoría inferior que todas las demás alternativas. Ésta es su debilidad, su carácter de inferioridad.

Por su parte, PROMETHEE II realiza una calificación completa donde hay un flujo neto de dominancia siendo:  $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$ . A mayor el flujo neto, mejor es la alternativa. Cuando PROMETHEE es considerado, todas las alternativas son comparables.

La representación gráfica de todas alternativas y criterios es el plano GAIA que considera una matriz de flujo neto de todas las alternativas. Dado que considera un vector  $w$  compuesto por los factores de ponderación asociados a los flujos netos de cada criterio. El vector  $w$  es crucial al ser representado en el plano GAIA como la proyección  $\pi$  del vector unitario de los factores de ponderación que equivale al eje de decisión PROMETHEE.

vector of its single criterion net flows on  $w$ . Consequently, the relative positions of the projections of all the alternatives on  $w$  provides the PROMETHEE II ranking.



**Figura 3.9 Calificación PROMETHEE II con el eje de decisión PROMETHEE**  
(Mareschal & Brans, Promethee Methods)

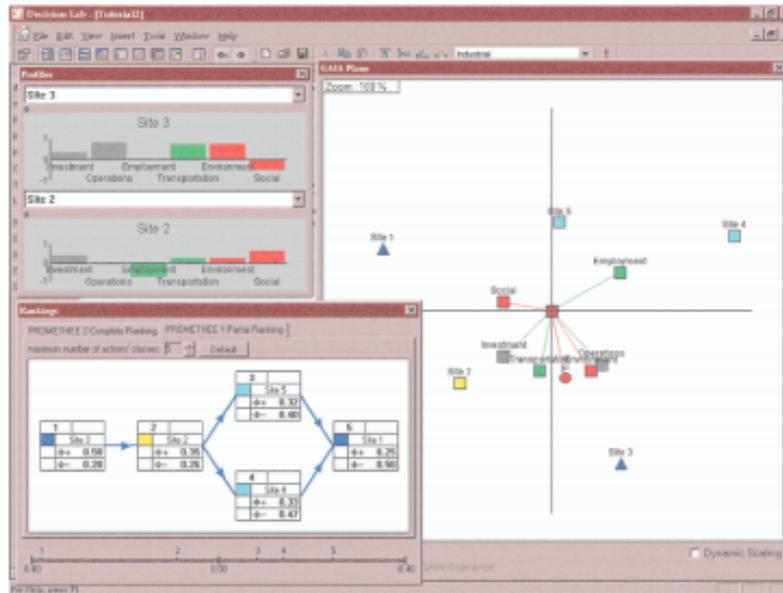
En el plano GAIA, cuando los pesos son distribuidos en todos los criterios, el eje de decisión aparece como un resultante ponderado de todos los ejes de los criterios ( $C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_k$ ). Si  $\pi$  es largo, el eje de decisión PROMETHEE tiene un poder de decisión fuerte y el tomador de decisión debe seleccionar las alternativas más alejadas a esa dirección. Si  $\pi$  es corto, el eje de decisión PROMETHEE carece de un poder de decisión fuerte y para el tomador de decisión significa que los factores de ponderación asociados a esos criterios son altamente conflictivos.

Como herramienta para el análisis multicriterio se utilizó el software Decision LAB 2000 el cual es una aplicación de Windows para la toma de decisiones e implementación de las metodologías PROMETHEE y GAIA antes descritas. Este programa es la versión 1.01.0386 desarrollada por la Compañía Canadiense Visual Decision, en cooperación con los autores creando una interfaz para manejar los datos de un problema multicriterio (Mareschal & Brans, Decision LAB). Esta versión está limitada a 60 evaluaciones en un escenario. En la Figura 3.10 se muestra la ventana principal del software.

	Investment	Operations	Employment	Transportation	Environment	Social
Min/Max	Minimize	Minimize	Maximize	Maximize	Minimize	Minimize
Weight	10.0000	10.0000	30.0000	10.0000	10.0000	30.0000
Preference Func	Linear	Linear	Linear	Level	Level	Level
Inference Thres	5.00 %	5.00 %	5.00 %	0.5000	0.5000	0.5000
Preference Thres	25.00 %	25.00 %	10.00 %	1.5000	1.5000	1.5000
Gaussian Thresh	-	-	-	-	-	-
Threshold Unit	Percent	Percent	Percent	Absolute	Absolute	Absolute
Unit	M\$	M\$	workers	5-point	Impact	Impact
Site 3	88.0000	7.0000	145.0000	Very Good	Very Bad	Bad
Site 2	86.0000	9.0000	170.0000	Good	Bad	Very Bad
Site 5	128.0000	10.0000	110.0000	Good	Average	Very Good
Site 4	115.0000	8.0000	95.0000	Bad	Good	Very Good
Site 1	74.0000	12.0000	175.0000	Average	Good	Bad

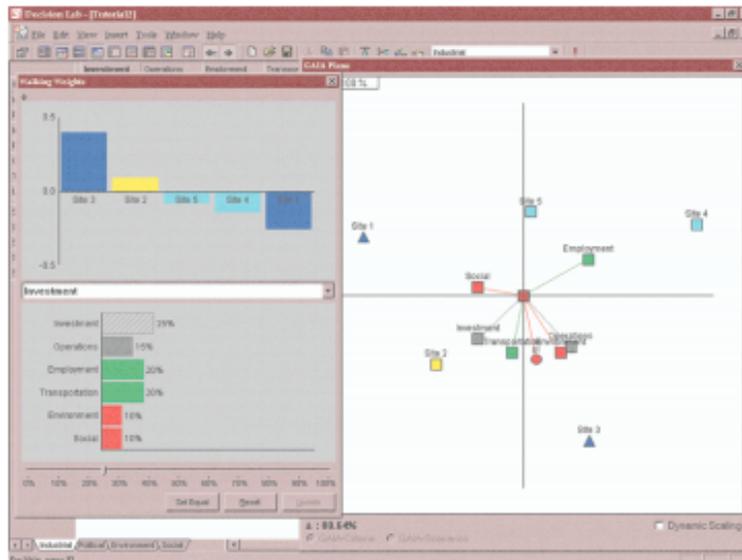
**Figura 3.10 Ventana principal del DECISION LAB**  
(Mareschal & Brans, Promethee Methods)

Todos los datos relacionados con la metodología PROMETHEE son introducidos por el usuario, quien define las funciones de preferencia y los factores de ponderación. Los resultados de PROMETHEE y GAIA se obtienen en tiempo real facilitando el análisis del problema. Los resultados del PROMETHEE, los perfiles de acción y el plano GAIA se muestran en ventanas separadas facilitando el análisis. (Figura 3.11).



**Figura 3.11 Ejemplo de ventanas de resultados de PROMETHEE, perfiles de acción y plano GAIA**  
(Mareschal & Brans, Promethee Methods)

Los intervalos de factores de ponderación son ajustados para cada criterio o categoría y son desplegados en pantallas interactivas facilitando un análisis extensivo. (Figura 3.12)



**Figura 3. 12 Ajuste de factores de ponderación**  
(Mareschal & Brans, Promethee Methods)

Al modificar los factores de ponderación en cada criterio, inmediatamente se visualiza una alteración en la ventana de análisis PROMETHEE II y en el plano GAIA. Todas las ventanas permiten al tomador de decisiones el análisis de las variables en un problema.

# 4. Resultados y análisis

*“Ningún ejército puede detener una idea  
a la que le ha llegado su momento”  
Víctor Hugo*

## 4. Resultados y análisis

Tomando como base la metodología detallada en el capítulo anterior, se obtuvieron los datos que integran los siguientes concentrados de información.

### 4.1 Área eléctrica

En la Tabla 4.1 se presenta el análisis del consumo típico de los aparatos utilizados en una vivienda. El requerimiento diario de consumo es 21954 Watt/h.

**Tabla 4. 1 Análisis del consumo típico de los aparatos usados en una vivienda**

Tostador	1100	5	min
Licuadaora	300	5	min
Horno de microondas	1100	6	min
Refrigerador CA de 20 pies cúbicos	540	24	hr
Cafetera	200	1	hr
Computadora laptop	35	5	hr
Computadora PC	120	5	hr
Impresora	100	1	hr
TV color 25"	150	2	hr
Videograbadora	40	1	hr
Reproductor CD	35	1	hr
Radio reloj	5	24	hr
Estereo	25	2	hr
5 Foco 100W incandescente	100	5	hr
Bomba de agua (1/4 HP)CA	220	4	hr
Ventilador de techo CD	20	5	hr
Ventilador de mesa	20	5	hr
Rasuradora	15	5	min
Lavadora	500	45	min

Las variables constantes en promedio para los requerimientos eléctricos en una vivienda son:

<b>Voltaje a la carga</b>	<b>V</b>	<b>16.575</b>
<b>Corriente a la carga</b>	<b>A</b>	<b>4.04</b>
<b>Características de los módulos</b>		<b>Película delgada</b>
<b>Requerimiento diario de energía</b>	<b>Wh-día</b>	<b>21953.7037</b>
<b>Horas de sol máximo (equivalente)</b>	<b>h</b>	<b>5.1842326</b>
<b>Tensión nominal del arreglo</b>	<b>V</b>	<b>24</b>
<b>Corriente requerida del arreglo</b>	<b>A</b>	<b>180.205</b>
<b>Número de módulos por serie</b>		<b>2</b>
<b>Corriente por serie de módulos</b>	<b>A</b>	<b>4.04</b>
<b>Número de series</b>		<b>45</b>
<b>Número total de módulos</b>		<b>90</b>
<b>Potencia total instalada</b>	<b>W</b>	<b>5968</b>
<b>Precio estimado del sistema</b>	<b>USD</b>	<b>47140.9398</b>
<b>Paneles+convertor+inversor+instalación y accesorios</b>		
<b>Precio por Watt instalado</b>	<b>USD/W</b>	<b>7.93485852</b>

Para el área eléctrica se integraron las siguientes categorías a evaluarse por todas las dimensiones de la sustentabilidad:

- Red eléctrica sin uso de ecotecnología con instalación de dispositivos ahorradores
- Solo ecotecnología
- Esquema híbrido Red/ecotecnología
- Esquema híbrido Red/ecotecnología con instalación de dispositivos ahorradores

Se realizó un ejercicio de consumo para cada ciudad de acuerdo a los bioclimas identificados y se promedió el valor para integrar el concentrado de la Figura 4.1. En los anexos se incluyen las tablas resultantes del ejercicio realizado en el Programa de evaluación técnica y económica para sistemas fotovoltaicos en el sector doméstico. (PROGRAMA ConaeFV2.0.xls)

Para definir el tipo de función de preferencia para cada variable se realizó la diferencia contra cada valor por pares. Cada diferencia de los pares fue

graficada para conocer la tendencia y establecer la función de preferencia y los parámetros. En la Figura 4.1 se muestra el concentrado de los valores considerados para cada variable, las funciones de preferencia y los parámetros escogidos para analizarlos con ayuda del Decision Lab. Un indicador global de sustentabilidad se obtiene en la calificación completa de Promethee el cual define la mejor opción para el tomador de decisiones.

#### 4.1.1 Casos de estudio considerados en el área eléctrica

A continuación se presentan los casos de estudio de acuerdo a los datos considerados para el área eléctrica:

	Inversión en la v B/C		GEI entidades	TRE	Disponibilidad de Seguridad energ	Consumo a la red
Min/Max	Minimize	Maximize	Minimize	Maximize	Maximize	Minimize
Weight	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Preference Functi	Level	Level	Level	V-Shape	V-Shape	Gaussian
Indifference Thres	100.0000	0.1000	1.0000	-	-	-
<b>Preference Thr</b>	24000.0000	0.4000	7.0000	55.0000	100.0000	-
Gaussian Thresh	-	-	-	-	-	1.0000
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
Average Perform	24103.9623	1.2525	6.7701	60.0000	147.5000	0.7125
Standard Dev.	17990.3146	0.2927	5.5428	22.7303	45.7347	0.2394
Unit	USD		tons	%	años	%
S/E red+disp ahor	3174.9093	0.9000	13.5401	85.0000	100.0000	0.6500
PFV	47140.9398	1.6100	0.0000	30.0000	200.0000	0.4000
Hib red/PFV	23000.0000	1.2000	7.2703	60.0000	120.0000	0.9000
Hib red/PFV +disp	23100.0000	1.3000	6.2698	65.0000	170.0000	0.9000

Figura 4. 1. Concentrado de datos según las variables para el área eléctrica

- **Caso 1. Todos los pesos de ponderación iguales**

En la Figura 4.2 se presenta la pantalla principal del Decision Lab la cual muestra el área de las variables y los criterios, las áreas de calificación PROMETHEE I y II, la representación del plano GAIA y la gráfica de las variables. Todos los pesos de ponderación con el mismo valor indican la opción mejor calificada es el esquema híbrido con PFV usando dispositivos ahorradores es la seguida por solo la opción con PFV. El plano GAIA, muestra las variables superpuestas favoreciendo una toma de decisión hacia la ecotecnologías.

- **Caso 2. Variación de pesos de ponderación respecto al consumo de red**

En el caso 2, al fijar la variable de consumo de red, se mantiene la tendencia del caso 1. Lo anterior indica que a pesar de que las ecotecnologías implican una inversión inicial considerable para el suministro energético, el indicador de sustentabilidad global obtiene el modelo híbrido con dispositivos ahorradores mejor calificación (0.20) respecto al PFV solo (0.12) al considerar el menor consumo energético a la red. Actualmente está subsidiado por el gobierno el suministro energético por fuentes convencionales, el esquema híbrido con

dispositivos ahorradores se muestran más atractivo a la interconexión a la red permitirá abatir la demanda de consumo energético del sector vivienda. (Figura 4.3)

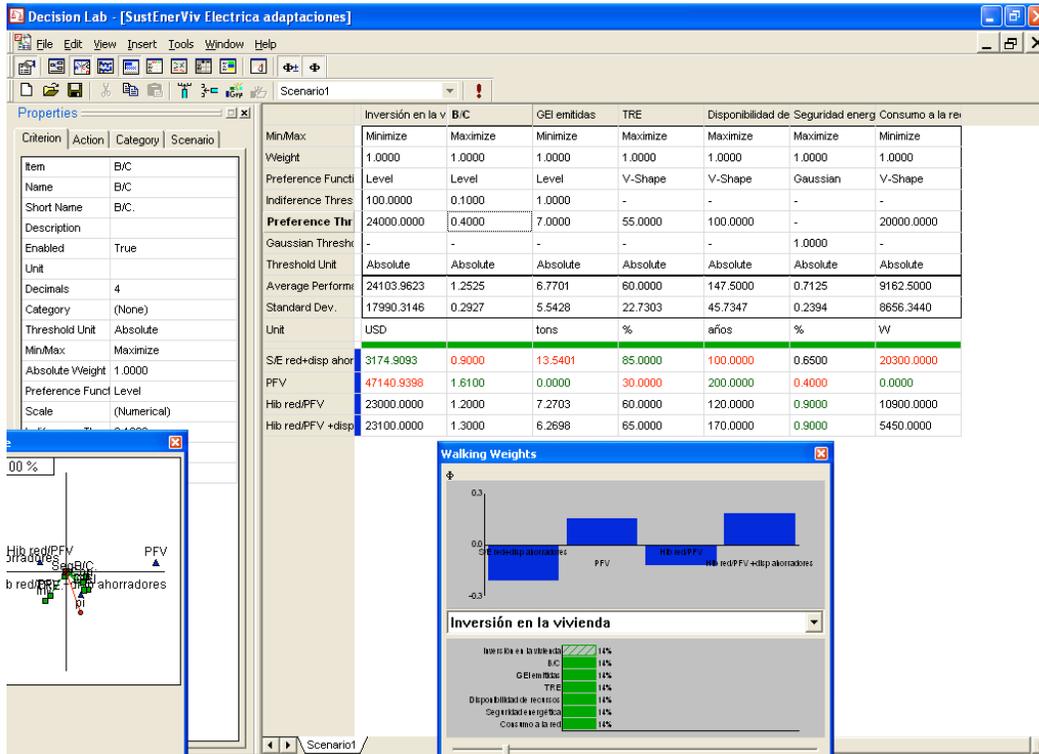


Figura 4. 2. Caso de estudio: Todos los pesos de ponderación iguales

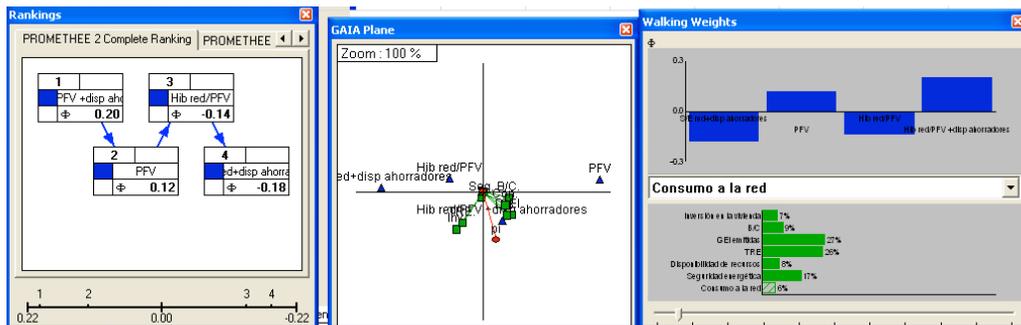


Figura 4. 3. Caso de estudio: Variación de pesos de ponderación respecto al consumo a red

- **Caso 3. Variación de pesos de ponderación respecto a la seguridad de suministro energético**

En el caso 3, la Figura 4.4 muestra el escenario que prevalece la tendencia de los casos 1 y 2 favoreciendo un esquema híbrido con dispositivos ahorradores. También se observa que al asignar mayor peso a la seguridad energética aumenta la ponderación en las emisiones GEI y la TRE disminuyendo la opción de PFV en comparación con el caso 1 y 2.

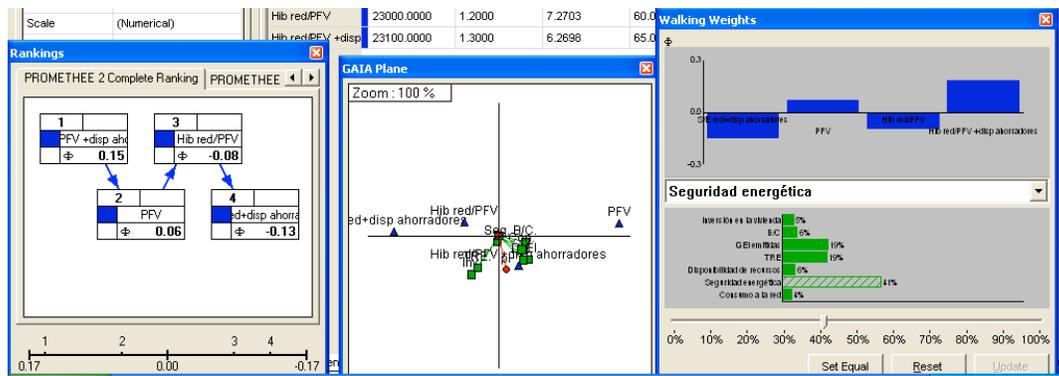


Figura 4. 4. Caso de estudio: Variación de pesos de ponderación respecto a la seguridad en suministro energético

- **Caso 4. Variación de pesos de ponderación respecto a las dimensiones social y ambiental**

La Figura 4.5 muestra el escenario donde la inversión tenga asociado el menor peso de ponderación respecto a las demás variables, se observa el B/C, las emisiones GEI, la disponibilidad de recursos y la seguridad energética posicionan al PFV como la opción mejor calificada (0.45) al compararlo con el esquema híbrido con dispositivos ahorradores (0.21). En el plano GAIA se observa el eje de decisión se ha desplazado ligeramente hacia la derecha donde está el cuadrante de PFV.

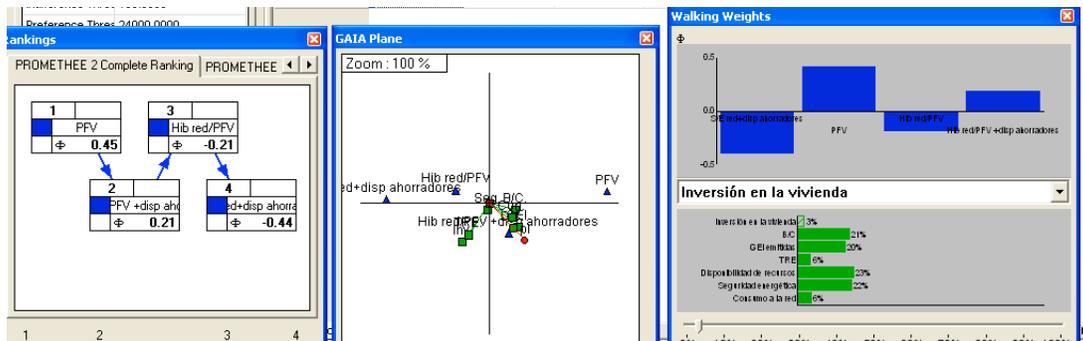


Figura 4. 5. Caso de estudio: Variación de pesos de ponderación respecto a las dimensiones social y ambiental

- **Caso 5. Variación de pesos de ponderación respecto a la dimensión económica**

En un escenario como el que tenemos actualmente donde la inversión presenta el mayor peso de ponderación respecto a las demás variables, el esquema sin ecotecnologías con dispositivos ahorradores es la opción mejor calificada (0.27) al compararlo con el esquema híbrido con dispositivos ahorradores (0.18). En el plano GAIA se observa el eje de decisión se ha desplazado hacia el cuadrante inferior de la izquierda. (Figura 4.6).

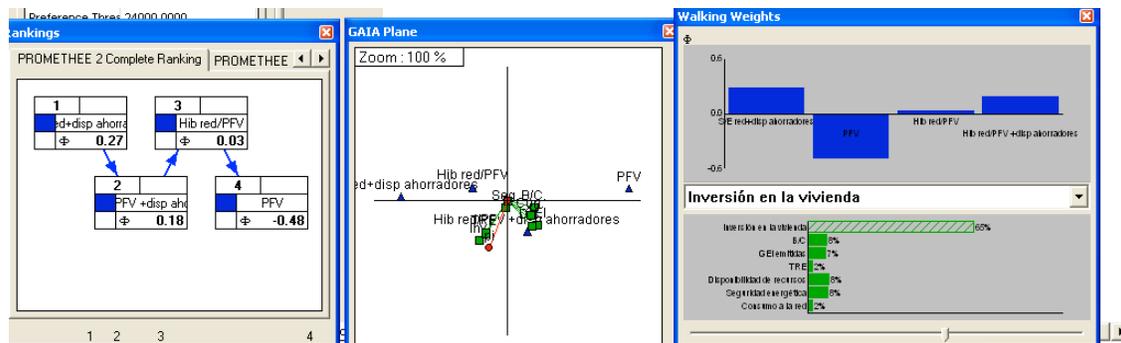


Figura 4. 6. Caso de estudio: Variación de pesos de ponderación respecto a la dimensión económica en el suministro de electricidad

### 3.4.1 Análisis de sensibilidad

Al realizar el análisis de sensibilidad de las variables que determinan la toma de decisión si solo se considera la dimensión económica como es la inversión y la tasa de retorno energético, está mejor calificado el uso de un esquema sin ecotecnología acompañado de dispositivos ahorradores. De considerer las dimensiones socio-ambientales se observa el esquema híbrido con dispositivos ahorradores es la mejor opción.

Tabla 4. 2 Análisis de sensibilidad de las variables

	min	max	min	max	max	max	min
<b>Hib</b>	23100	1.3	6	65	170	0.9	5450
<b>red/PFV+ahorr</b>							
<b>S/E red</b>	2674	0.6	14	80	70	0.65	21800
<b>convencional</b>							
	S/E> Hib	Hib>S/E	Hib>S/E	S/E> Hib	Hib>S/E	Hib>S/E	Hib>S/E

## 4.2 Área térmica

Para el área térmica se integraron las siguientes categorías por dimensiones:

- Sin ecotecnología Gas LP
- Sin ecotecnología Gas Natural
- Esquema híbrido GasLP/ecotecnología
- Esquema híbrido Gas Natural/ecotecnología
- Esquema híbrido GasLP/ecotecnología e instalación de dispositivos ahorradores
- Esquema híbrido Gas Natural/ecotecnología e instalación de dispositivos ahorradores

Las variables constantes en promedio para el gas LP son:

<b>Área de colectores recomendada:</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	2
<b>Tanque de almacenamiento:</b>	<b>l.</b>	13.33
<b>Vida útil del sistema calentador solar:</b>	<b>años</b>	20
<b>Precio estimado del sistema:</b>	<b>M.N.</b>	5,256.78
<b>Ahorro mensual de gas L.P.:</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	24.47

En la tabla 4.3 se presenta el concentrado de los datos a evaluar en función de los criterios y variables a considerar en las categorías. Dichos valores promedios de las nueve regiones bioclimáticas obtenidos como parte del ejercicio realizado en el Programa de Evaluación Técnico-Financiera para Sistemas Solares para Calentamiento de Agua en el Sector Doméstico de la CONUEE. En los anexos se encuentran las tablas relacionando los cálculos y resultados por bioclimas.

**Tabla 4. 3 Concentrado de datos según las categorías por dimensiones para el área térmica**

	Inv	Rec	B/C	GEI reducidas	TRE	Disp	Tram	Seg	Cons
Min/Max	Minimize	Minimize	Maximize	Maximize	Maximize	Maximize	Minimize	Maximize	Minimize
Weight	1.9469	1.9129	0.5417	0.5417	0.5417	0.5417	0.5417	0.5417	1.8900
Preference Funct	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Indifference Thres	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Preference Thres	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gaussian Thresh	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
Average Perform	310.2395	3.6736	0.7527	0.5333	36.6667	5023.3333	8.6667	0.9333	142.5263
Standard Dev.	208.2679	3.4212	0.6856	0.4227	13.6626	4440.8678	3.7771	0.0816	146.9963
Unit	USD	años		tons		años	días	porcentaje	anual
S/E GLP	45.0600	0.0000	0.0000	0.0000	20.0000	70.0000	10.0000	0.8000	293.6004
S/E GNat	45.0600	0.0000	0.5000	0.0000	20.0000	70.0000	15.0000	0.9000	364.7856
C/ E GLP	404.3677	8.6948	1.6097	0.7000	40.0000	5000.0000	8.0000	0.9000	33.6004
C/E GNat	404.3677	6.0000	0.3984	0.9000	40.0000	5000.0000	9.0000	1.0000	64.7856
C/E GLP ahorr	481.2908	4.3469	1.6097	0.7000	50.0000	10000.0000	4.0000	1.0000	33.6004
C/E GNat ahorr	481.2908	3.0000	0.3984	0.9000	50.0000	10000.0000	6.0000	1.0000	64.7856

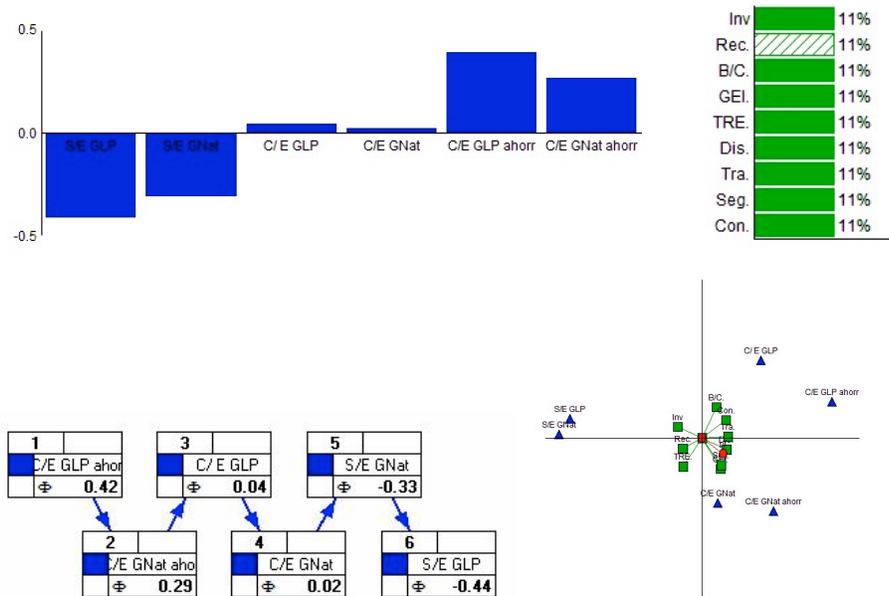
#### 4.2.1 Casos de estudio considerados en el área térmica

Para el área térmica, se obtuvieron los siguientes resultados para todos los casos de estudio o escenarios considerados:

- **Caso 1. Todos los pesos de ponderación iguales**

En el caso 1 que contempla todos los pesos de ponderación iguales, el resultado se observa en la Figura 4.7 en donde las opciones con ecotecnología resultan mejor calificadas. El primer lugar se obtiene el GasLP con dispositivos ahorradores (0.42) seguido por el uso de Gas Natural con dispositivos ahorradores (0.29). En el caso de solo Gas LP y Gas Natural sin dispositivos ahorradores, se obtuvo la calificación de 0.04 y 0.02 respectivamente.

En el Plano GAIA se observa que el eje de decisión está dirigido a los cuadrantes con ecotecnologías y se muestran todas las variables muy cercanas e inclusive algunas superpuestas.



**Figura 4. 7 Caso 1: Representación gráfica de las categorías del área térmica integrando la calificación PROMETHEE II y el plano GAIA correspondiente**

- **Caso 2. Los pesos de ponderación correspondientes donde la dimensión económica prevalece**

Para el Caso 2, al aumentar el peso de ponderación en los indicadores de la dimensión económica, se observa en la Figura 4.8 permanece mejor calificado el uso de ecotecnología en esquema híbrido al suministro con Gas LP y en segundo lugar el uso de Gas LP sin ecotecnología seguido en tercer lugar por el uso de ecotecnología con Gas Natural y dispositivos ahorradores.

En este caso, la calificación Promethee nos ayuda en la visualización numérica y en el plano GAIA se mantiene el eje de decisión en los cuadrantes en el uso de esquemas híbridos de generación convencional con ecotecnología en este caso la energía solar. La inversión para adquirir las ecotecnologías solares representa una inversión más viable y representa un ahorro hasta del 80% del combustible.

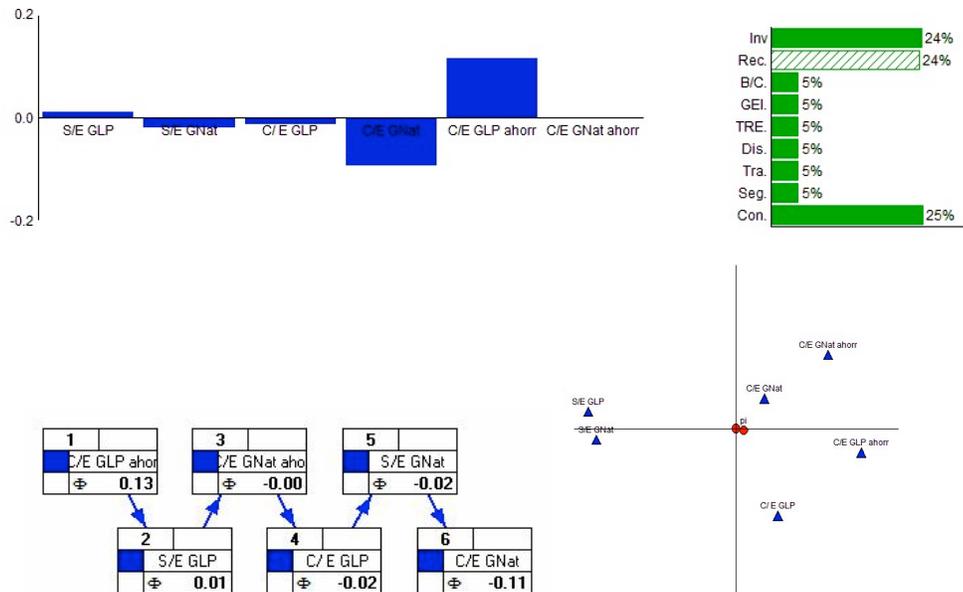


Figura 4. 8 Caso 2: representación gráfica de las categorías del área térmica respecto a la dimensión económica

- **Caso 3. Los pesos de ponderación correspondientes donde la dimensión ambiental prevalece**

Al asignar un mayor peso de ponderación en el escenario de la dimensión ambiental, se observa en primer lugar el uso de gas LP con dispositivos ahorradores seguido por el uso de gas natural con ecotecnologías y dispositivos ahorradores (Figura 4.9). Se resalta el uso de Gas Natural combinado con el uso de ecotecnologías es una opción favorecida principalmente por la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero al incluir la ecotecnología.

- **Caso 4. Los pesos de ponderación correspondientes donde la dimensión social prevalece**

En el Caso 4 (mayor peso en la dimensión social), continúa las calificaciones de valor positivo al uso de ecotecnologías solares como complemento al suministro convencional (Figura 4.10). Asimismo, el eje de decisión se mantiene dirigido hacia los cuadrantes de Gas LP y Gas Natural con ecotecnologías.

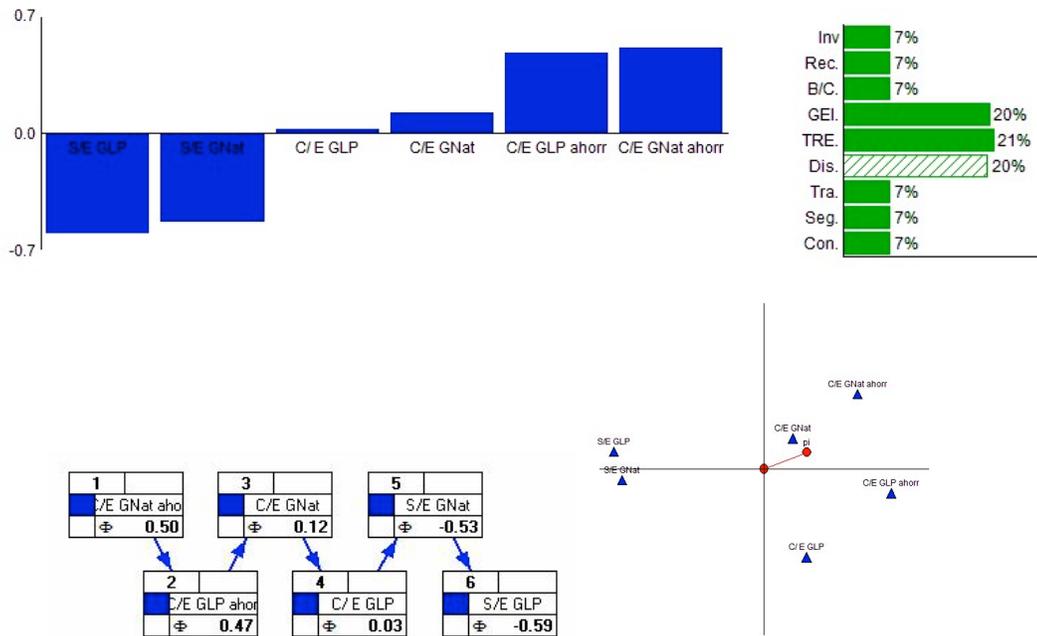


Figura 4. 9 Caso 3: Representación gráfica de las categorías del área térmica respecto a la dimensión ambiental

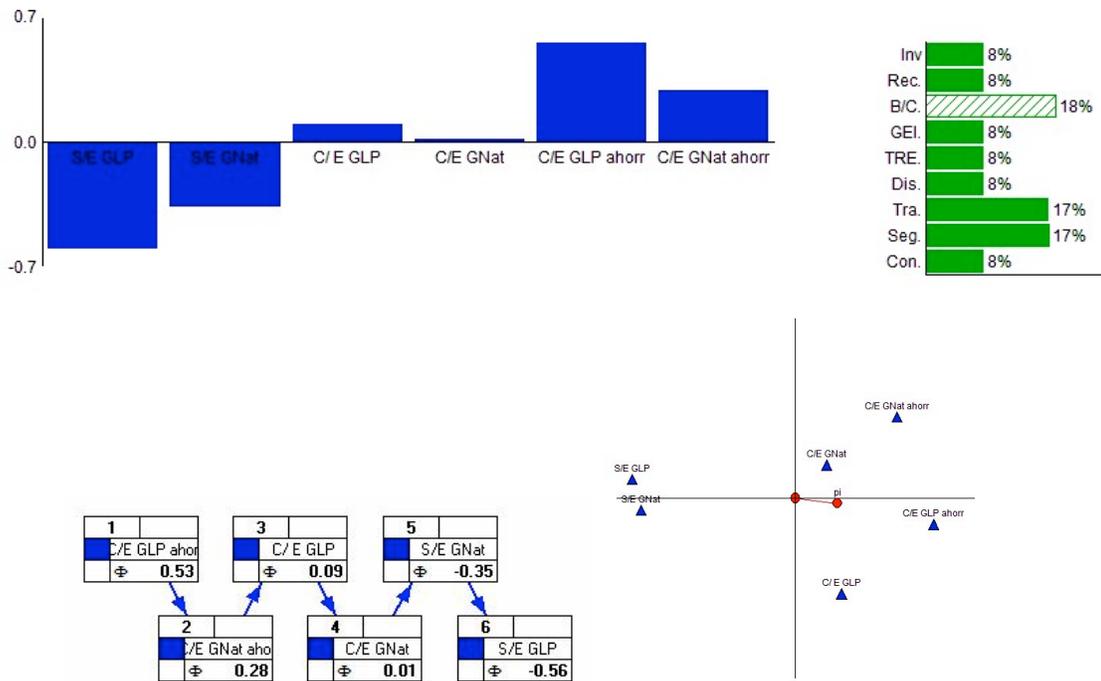
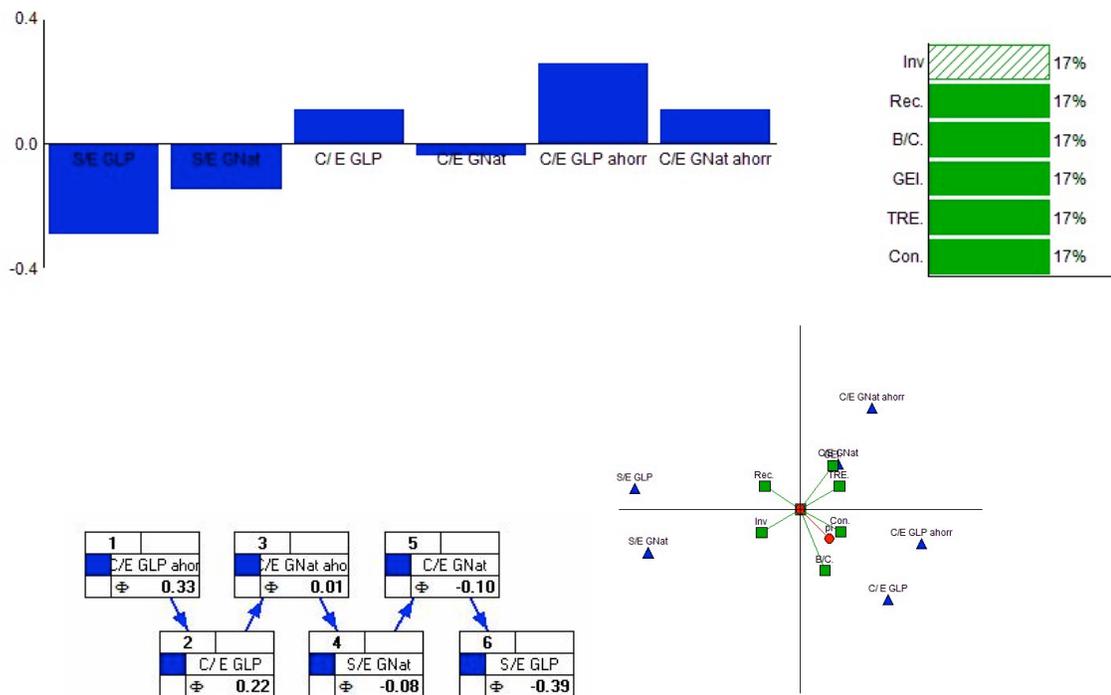


Figura 4. 10 Caso 4: Representación gráfica de las categorías del área térmica respecto a la dimensión social

En todos los casos se consideró el Gas LP es más asequible en caso de que no se tenga interconexión al suministro de gas natural el cual es más económico por volumen pero el suministro de servicio. Asimismo el Gas LP da más energía por volumen que el gas natural y es necesario ajustar las espreas en la estufa y calentador para brindar una combustión apropiada. Todas estas consideraciones para la toma de decisiones en un problema multicriterio. Cualquiera que sea el combustible usado al complementarlo con ecotecnologías existe un mayor ahorro de combustible y reducción de emisiones. En el caso de integrar dispositivos ahorradores, se incrementa el indicador de sustentabilidad.

En el área térmica, se consideró reducir las variables de Trámites de conexión, Seguridad de Suministro Energético y Disponibilidad de recursos debido a la superposición encontrada en los planos GAIA de esta manera se muestran resultados interesantes en la Figura 4.11:



**Figura 4. 11 Representación gráfica de las categorías del área térmica considerando solo 6 variables**

Con esta reducción de variables se observa una mejor calificación en el uso de las ecotecnologías combinadas con el uso de gas LP y natural incluyendo dispositivos ahorradores.

Comparando el Plano GAIA de la Figura 4.7 con nueve variables respecto a la Figura 4.11 de seis variables se observa las variables no están superpuestas en el plano GAIA. La Figura 4.12 permite identificar las tres dimensiones consideradas en la sustentabilidad siendo muy consistentes con el escenario actual en el sector: las dimensiones económicas están dirigidas al uso de la generación convencional, la dimensión ambiental se dirige al uso de gas natural con ecotecnologías y por último, la dimensión social se orienta al uso de gas LP principalmente por el beneficio/costo y consumo energético.

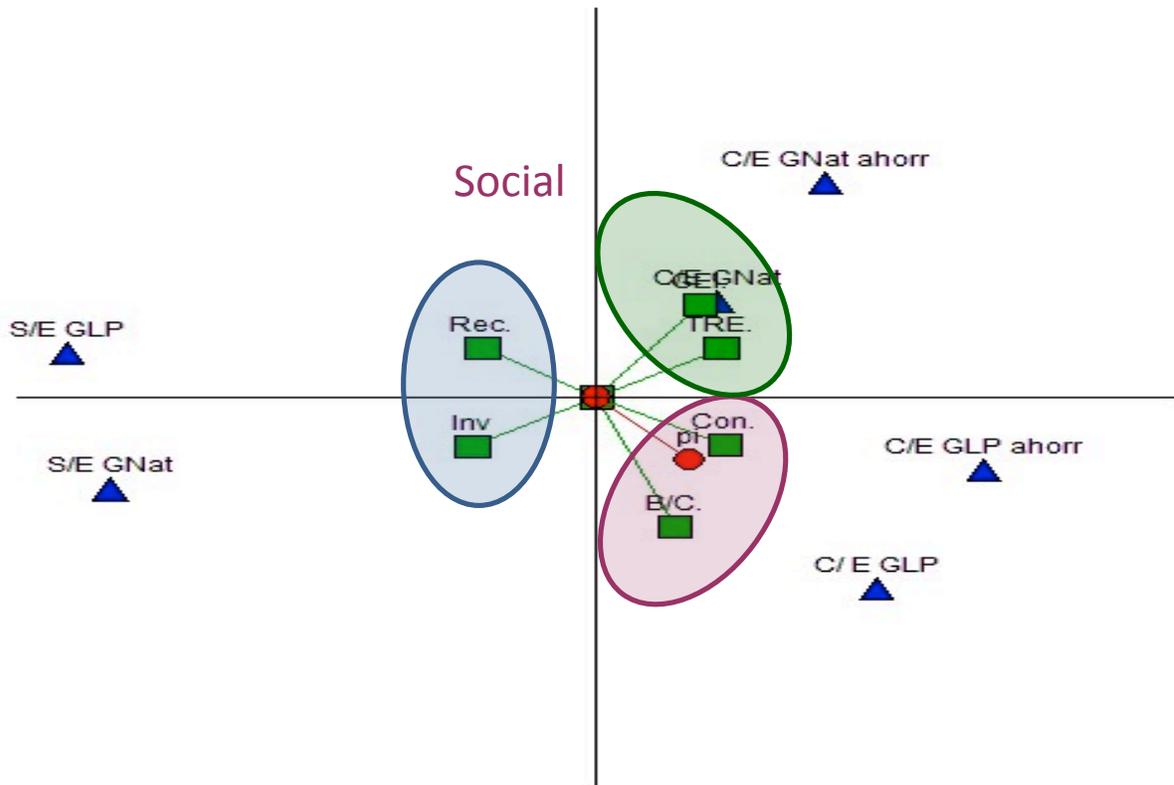
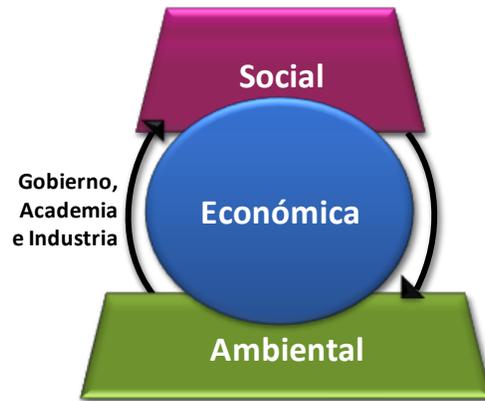


Figura 4. 12 Plano GAIA identificando las tres dimensiones de la sustentabilidad.

### 4.3 Recomendaciones para el modelo de sustentabilidad energética en los conjuntos habitacionales

Con los resultados obtenidos, más allá de la representación convencional de las tres dimensiones de la sustentabilidad energética, es importante relacionarlas con los actores principales considerados en la Figura 3.3. En la Figura 4.13 se muestra una representación gráfica más reciente de las dimensiones de la sustentabilidad que interrelaciona a los actores. En esta representación cíclica considera la dimensión ambiental, es decir los recursos naturales son la base del

modelo, la dimensión económica es el siguiente engrane que se relaciona ampliamente con los actores gubernamentales, industria y academia para alcanzar a la dimensión social que ensambla y es prueba de la integración compleja de todas las dimensiones.



**Figura 4.13 Representación gráfica de las dimensiones de sustentabilidad**

De acuerdo a los resultados obtenidos para el área térmica y eléctrica, la conceptualización de los factores del modelo propuesto en la Figura 3.1 para evaluar la sustentabilidad energética en los conjuntos habitacionales son:

1. Dimensiones de la sustentabilidad (3)
2. Categorías por dimensiones (3)
3. Tipología por bioclimas (9)
4. Áreas involucradas en el sector energético (2)

El modelo propuesto es apto para realizar el estudio cualquier región, como ejemplo demostrativo se hizo el promedio de los datos correspondientes a los nueve bioclimas identificados en México. El reto es encontrar los datos los cuales pueden ser medidos directamente en campo o bien estimados.

Para fines prácticos se recomienda considerar las variables más representativas dado que la metodología del modelo facilita la visualización del problema al tomador de decisión así como el seguimiento y evaluación de las variables con el paso del tiempo.

Es una propuesta viable para realizar el análisis de la sustentabilidad energética en los conjuntos habitacionales pero aún es susceptible a optimizarla para facilitar la obtención de los datos para los diferentes bioclimas.

# 5. Conclusiones y perspectivas

*“Sino somos nosotros, entonces ¿Quién?  
y sino es ahora, entonces ¿Cuándo?”*

*John F. Kennedy*

## **5. Conclusiones y Perspectivas**

### **5.1 Conclusiones**

Con la expansión de la población y el crecimiento económico, la demanda de energía seguirá incrementando en todo el mundo, por lo que la energía procedente de fuentes renovables ocupará un lugar fundamental.

En este trabajo de investigación, se realizó la evaluación de la sustentabilidad energética en los conjuntos habitacionales usando la metodología de análisis multicriterio. Para la construcción del modelo se dividieron en dos tipologías para el estudio energético: área eléctrica y área térmica englobadas en tres dimensiones de la sustentabilidad se desglosan en nueve categorías. Mediante la metodología multicriterio, se obtuvo una calificación de sustentabilidad para los esquemas híbridos de energías convencionales y renovables.

El alcance de este trabajo de investigación es proponer un modelo dirigido a los tomadores de decisión donde a través de una representación gráfica y la calificación de la sustentabilidad energética en los conjuntos habitacionales realicen un análisis del uso potencial de las ecotecnologías solares en el sector residencial en México.

Durante la revisión de la literatura se encontraron algunas barreras para la conceptualización del modelo a fin de integrar las ecotecnologías contemplando su adquisición como en la instalación que se mencionan a continuación: alto costo inicial de los equipos; altas tasas de interés y limitado acceso al financiamiento para la adquisición de equipos solares a tasas preferenciales; desconfianza de los posibles usuarios en la tecnología y existencia limitada de técnicos capacitados para instalar y/o reparar los sistemas.

Como parte de la revisión y evaluación, se considera que en los conjuntos habitacionales horizontales se tiene mayor autonomía para elegir la instalación de ecotecnologías como un panel fotovoltaico o un calentador solar de agua ya que el uso del área de azotea es individual y la inversión recae en solo usuario. Mientras que en el caso de los conjuntos habitacionales verticales,

donde existen áreas comunes más reducidas en el caso del área de azotea. Asimismo implica un mayor consenso para la inversión entre los inquilinos pero en un marco de una sana convivencia, el empleo comunitario de la ecotecnología resultará una posibilidad factible.

Los resultados obtenidos para el área eléctrica en la vivienda muestran que debido al alto costo de los paneles fotovoltaicos comparado al suministro convencional les reduce una competencia frente al suministro por una fuente convencional subsidiada por el gobierno. Con la metodología se identificó que un esquema híbrido resulta con mejor calificación total respecto a un esquema sin ecotecnologías cuando se complementa con dispositivos ahorradores resultando una opción sustentable para el suministro energético. En general, las limitaciones particulares para la tecnología fotovoltaica como el almacenamiento y la captación de energía durante la noche y en días nublados queda respaldado por la interconexión a la red eléctrica.

Como alternativa viable y asequible en el corto plazo para reducir el consumo eléctrico es fomentar el uso de dispositivos ahorradores como medida más inmediata acorde a los programas federales que fomentan el ahorro a través de cambio de luminarias más eficientes y ahorradoras. También en complemento a las opciones anteriores para reducir el consumo eléctrico en el alumbrado de los conjuntos verticales u horizontales, una opción es instalar en las áreas comunes el alumbrado de paneles fotovoltaicos donde la inversión se reparta entre los inquilinos reduciendo el costo de inversión y gastos administrativos en el largo plazo.

En el caso del área térmica, las barreras financieras han sido ampliamente contempladas en el sector residencial en los mecanismos como créditos e incentivos principalmente en los conjuntos habitacionales nuevos. La mayor barrera que se presenta es el factor social que implica una mayor demanda y difusión de los beneficios a largo plazo aunados con un esquema de financiamiento competitivo. Ya sea vivienda horizontal o vertical, el área térmica considerando un esquema híbrido actualmente tiene mayor potencial de uso generalizado respecto al área eléctrica.

El fomento de esquemas híbridos usando de energías renovables en la vivienda debe ir acompañado con el aumento de esquemas de financiamiento para la

instalación de módulos así como mayor conciencia y demanda de ecotecnologías por parte de la sociedad.

## **5.2 Perspectivas**

Actualmente, existe una tendencia a migrar a ciudades que pueda integrar a los encargados gubernamentales, urbanistas, inmobiliarias y demás actores para pensar en un barrio verde, una ciudad regenerativa que migre del contexto "Petrópolis a Ecópolis". A partir de 16ª Conferencia de las Partes (COP) celebrada en México a finales del 2010, se presentaron casos de éxito de políticas transversales en materia de cambio climático enfatizando el potencial de acción en los sectores energético y residencial.

A nivel internacional, un ejemplo de ello se observa en el programa: Comunidades One Planet de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente que ha remodelado viviendas públicas ya existentes en Londres y Sonoma Mountain Village, en California, que alberga 2,000 viviendas, el complejo netamente comercial de Barangaroo en Sydney con 350,000 m<sup>2</sup>, y ciudades enteras como Masdar en los Emiratos Árabes Unidos, donde se ha elaborado un Plan de Acción de Sustentabilidad (PNUMA, Un mundo sembrado de barrios verdes, 2010). Otro ejemplo del éxito es el caso de Túnez del uso de las energías renovables ha dado lugar a programas gubernamentales de financiamiento del calentamiento de agua con energía solar disminuyendo los subsidios destinados a la energía convencional (PNUMA, Obteniendo paneles solares para agua caliente, 2010)

A nivel nacional, existe el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 (PECC) próximo a renovarse como parte de las acciones concretas que ha emprendido para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y donde "asume el objetivo indicativo o meta de reducir en un 50% sus emisiones de GEI al 2050, en relación con las emitidas en el año 2000" (SEMARNAT, COP16/CMP6 Mexico , 2010).

Particularmente para la Vivienda Sustentable, existe la estrategia transversal que incluye algunas políticas públicas de vivienda, criterios para desarrollos habitaciones sustentables y las características para las viviendas del programa de subsidio federal para Vivienda "Esta es tu Casa" (CONAVI, Vivienda Sustentable, 2010) que considera diversos actores altamente relacionados

como la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), el INFONAVIT, desarrolladores de conjuntos habitacionales, la sociedad hipotecaria, entre otros.

Asimismo, como parte de las iniciativas federales del 2006-2012 orientadas ahorro y uso óptimo de la energía eléctrica tanto por la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y validado por el Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica (FIDE), se creó el Programa "Luz sustentable" dirigido a las viviendas el cual permite un intercambio de focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas ahorrando de 30 a 50% en el consumo energético reflejado en el recibo de consumo bimestral. Las perspectivas con la nueva administración federal tiene gran potencial de rescatar estos programas e iniciativas.

### **5.3 Prospectiva del sector energético**

En el escenario del entorno global energético según la Agencia Internacional de Energía se estima la demanda total de energía a nivel mundial incrementará casi un tercio lo cual implica una inversión total mayor a 38 billones de dólares.

Aunque los hidrocarburos aun figuran como principal fuente de energética, se estima que su participación disminuirá a nivel mundial El World Energy Outlook (WEO, 2011) estima una reducción en la participación de los hidrocarburos de 81% en 2010 a 75% en 2035.

A nivel nacional, se estima un incremento de la demanda de energía de 3.4% promedio anual. Ante dicho panorama en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026 (ENE) se contemplan los lineamientos generales que fomentan la seguridad energética, la eficiencia económica y productiva y la sustentabilidad ambiental. La ENE plantea siete objetivos como: Restituir reservas, incrementar la producción de crudo y la de gas natural; Diversificar las fuentes de energía dando prioridad al incremento en la participación de tecnologías no fósiles; Incrementar los niveles de eficiencia en el consumo de energía de todos los sectores; Reducir el impacto ambiental del sector energético; Operar de forma eficiente, confiable y segura la infraestructura energética; Fortalecer y modernizar la infraestructura del sector energético; Impulsar el desarrollo de la industria petroquímica nacional.

La meta nacional específica donde participan las energías limpias en un 35% en la capacidad instalada de generación de electricidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como parte de los compromisos internacionales. (SENER, 2012)

## **5.4 Prospectiva del sector residencial**

Desde 2010, México ha tenido la iniciativa para avanzar en el desarrollo sustentable en el sector residencial a través del fortalecimiento de la capacidad técnica, desarrollo de proyectos piloto y coordinación interinstitucional y actores clave para el sector.

Como parte de las acciones para fortalecer la política pública del sector, se ha encaminado una estrategia financiera que contempla esquemas financieros climáticos e instrumentos como los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), NAMA de vivienda y urbana.

En 2011, se presentó la NAMA de vivienda sustentable la cual está basada en considerar a la casa como un todo desde el diseño, la implementación, la estrategia de financiamiento y el sistema de Monitoreo- Reporte y Verificación (MRV) a fin de enrobustecer la política nacional de vivienda.

En 2012, se trabajó en el diseño de la NAMA Urbana para extender el alcance de la sustentabilidad, establecer metas más ambiciosas y estándares de eficiencia para mitigar las emisiones de GEI. La NAMA Urbana integrará soluciones eficientes para agua, drenaje, alumbrado público buscando permear a los sectores urbanos como transporte y la gestión de residuos.

Los siguientes pasos para consolidar una estrategia energética en el sector residencial de ser transversal e intersecretarial vinculando los esfuerzos dispersos hacia la sustentabilidad energética incentivando la participación de la academia y la industria de la construcción a desarrollar mecanismos que fomenten la implementación de tecnologías sustentables y promuevan un mercado de la construcción sustentable.

Lo descrito y analizado en este trabajo de investigación será realmente medible al permear en la sociedad mexicana fomentando la sustentabilidad energética desde el sector residencial replicándose en más acciones de sustentabilidad en todos los sectores.

# 6. Referencias

## 6. Referencias consultadas

- USAID-ITAM. (2010). *Energías renovables: Impulso político y tecnológico para un México sustentable* (Primera edición ed.). (S. Romero-Hernández, O. Romero-Hernández, & D. Wood, Eds.) México: e:de business by design.
- Worldometers. (2011). Retrieved agosto de 2011 from <http://www.worldometers.info/population/>
- Worldometers. (2013). Retrieved Abril de 2013 from <http://www.worldometers.info/population/>
- Vázquez Martínez, O. A., Del Valle Cárdenas, B., Lino Linares, M. Á., & López Saldivar, F. J. (2008). *Manual de instalaciones para el calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar*. Ciudad de México, México. *Alternativa Energética*. (n.d.). Retrieved 2011 from <http://www.alternativaenergetica.com.mx/energia-eolica-aerogeneradores.html>
- Amozurrutia, J. (2007). *Tesis doctoral. Modelo adaptativo para el análisis social: una perspectiva desde la sociocibernética*. Retrieved 2010 from LABCOMPLEX: <http://www.labcomplex.net/tesis>
- Ballenilla, M., & Ballenilla, F. (2007/2008). La tasa de retorno energético. *El ecologista*, 55, 24-28.
- Centro Mario Molina. (2012). *Evaluación de la Sustentabilidad de la Vivienda en México*.
- CFE. (Sep de 2010). *CFE Comisión Federal de Electricidad*. Retrieved enero de 2011 from <http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/estadisticas/Paginas/Indicadoresdegeneracion.aspx>
- CONUEE. (2000). Retrieved 2011 from [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_2138\\_asistencia\\_tecnica\\_y](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_2138_asistencia_tecnica_y)
- CONUEE. (2010). *Comisión Nacional para el Uso Eficiencia de la Energía Eléctrica*. (A. Estrada, Ed.) Retrieved 2011 from <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7106/2/Semblanza09.pdf>
- CONUEE/GTZ/ANES. (Septiembre de 2009). *Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (Procalsol)*. Retrieved 2011
- CONAVI. (2010). *Vivienda Sustentable*. Comisión Nacional de Vivienda.
- CONAVI. (2011). *Vivienda Sustentable en México. COP17*.
- CONAVI. (2010). *Vivienda Sustentable*. Comisión Nacional de Vivienda.
- CONAVI. (2010). *Código de Edificación de Vivienda* (2a edición ed.). México.
- CONAVI. (2010). *Criterios mínimos de sustentabilidad para subsidio 301009-bis 28*. Ciudad de Mexico: CONAVI. Características Paquete Básico para Programas de Subsidios "Esta es tu Casa".
- CONAFOVI. (2006). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*. Distrito Federal, Mexico : Arroyo+Cerda, S.C.

CONAFOVI. (2006). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*. Ciudad de México, Distrito Federal , Mexico .

CONAFOVI. (2006). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda* (Primera edición ed.). Distrito Federal, Mexico: Arroyo+Cerda, S.C.

CONAFOVI. (2006). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*. Distrito Federal, Mexico : Arroyo+Cerda, S.C.

CONAFOVI. (2005). *Guía para el uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales* (Primera edición ed.). México.

CONOREVI, U. F. (2010). *Guía para la redensificación habitacional en la ciudad interior*. (1987). *Comisión Bruntland, ONU*.

Esta es tu casa . (2010). *Criterios mínimos de sustentabilidad para subsidio 301009-bis 28*. Ciudad de Mexico: CONAVI. Características Paquete Básico para Programas de Subsidios "Esta es tu Casa".

GAPMINDER. (2010). Retrieved 11 de Mayo de 2011 from <http://www.gapminder.org/downloads/gapminder-world-map/>

IAEA. (2010). *Building Capacity for Energy and Electricity Planning for Sustainable Development*. International Atomic Energy Agency.

IEA. (2011). *Electricity information 2011*.

IGLOM. (2010). *ÍNDICE DE DESARROLLO INSTITUCIONAL Y SUSTENTABILIDAD MUNICIPAL*. Mexico.

INE. (2004). *Instituto Nacional de Ecología*. Retrieved 2011 from <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/495/residuos.html>

INEGI . (2010). Retrieved Abril de 2013 from <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>

INEGI. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*. Retrieved Marzo de 2011 from Censo de Población y Vivienda 2010: Tabulados del Cuestionario Básico: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=27302&s=est>

Hartley, P., Metlock, K., & Nesbitt, J. (abril de 2008). *Rice University*. Retrieved 2011 from [http://www.rice.edu/energy/publications/docs/PEC\\_Medlock\\_10\\_25\\_04.pdf](http://www.rice.edu/energy/publications/docs/PEC_Medlock_10_25_04.pdf)

Kotecki, T. (2008 *йил* 28-October). CONAE. Irapuato , Mexico.

Mareschal, B., & Brans, J.-P. Decision LAB. In *Promethee Methods*.

Mareschal, B., & Brans, J.-P. Promethee Methods. In *Promethee Methods*.

Martin del Campo, C., & Francois, J. L. (2008). Desarrollo de una Metodología para Evaluar la Sustentabilidad de Fuentes de Generación Eléctrica. *México Nuclear* , 1 (8), 15-28.

OECD/IEA. (2010). *2010 Key World Energy Statistics*. Paris Cedex, France: SOREGRAPH.

OECD/IEA. (2012). *2012 Key World Energy Statistics*. Paris Cedex, France: SOREGRAPH.

ONU Habitat. (2010).

PNUMA. (2010). Un mundo sembrado de barrios verdes. *30 maneras en 30 días, la revista del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)* , 46-47.

PNUMA. (2010). Obteniendo paneles solares para agua caliente. *30 maneras en 30 días, la revista del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)* , 62-63.

(2007-2012). *PND*.

PROCOBRE. (2007). *Casos de Éxito en Viviendas. La Utilización del cobre en sistemas solares de calentamiento de agua: Vivienda de Interés Social*. ANES . México: Procobre Centro Mexicano de Promoción del Cobre AC.

Salgado, R., & Altomonte, H. (2001). *Recursos naturales e infraestructura. Indicadores de Sustentabilidad 1990-1999*. CEPAL/GTZ. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

SENER. (2010). *Estadísticas destacadas del sector energético*.

SEMARNAT. (2010 йил Diciembre). *COP16/CMP6 Mexico* . From <http://www.cop16.mx/es/mexico-y-el-cambio-climatico/acciones-de-mexico-programa-especial-de-cambio-climatico/>

SEMARNAT. (2010 йил Diciembre). *COP16/CMP6 Mexico* . From <http://www.cop16.mx/es/mexico-y-el-cambio-climatico/acciones-de-mexico-programa-especial-de-cambio-climatico/>

SEMARNAT. (diciembre de 2010). *COP16/CMP6 Mexico 2010*. From <http://www.cop16.mx/es/mexico-y-el-cambio-climatico/acciones-de-mexico-programa-especial-de-cambio-climatico/>

SEMARNAT. (2010 йил Diciembre). *COP16/CMP6 Mexico 2010*. From <http://www.cop16.mx/es/mexico-y-el-cambio-climatico/acciones-de-mexico-programa-especial-de-cambio-climatico/>

SEMARNAT/INECC. (2012). *México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Mexico: 1a Edición .

SMADF Vazquez. (2008). *Manual de Capacitación para la Correcta Interpretación y Aplicación de la Norma para Calentamiento Solar de Agua*. Ciudad de México: Secretaria de Medio Ambiente del Distrito Federal .

SOLARTRONIC. (2010). Retrieved 2011 from [http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/)

SOLARTRONIC. (2004). *SOLARTRONIC*. Retrieved 2011 from <http://www.solartronic.com/download/SistemasFV.pdf>

REN21. (2010). Retrieved 2011 from <http://www.ren21.net/REN21Activities/Publications/GlobalStatusReport/GSR2010/tabid/5824/Default.aspx>

REN21. (2012). *Renewables 2012, Global Status Report*.

# 7. Anexos

## 7. Anexos

### 7.1 Glosario de términos

**Aspecto Social.** Una de las responsabilidades directas de los planificadores territoriales y diseñadores urbanos, es identificar los valores sociales propios de una comunidad, y con estricto apego a ellos debe presentar alternativas que resuelvan un ambiente propicio para la convivencia social.

**Barrio.** Sector urbano donde habita un vecindario y caracterizado por peculiaridades que lo distinguen. SEDESOL

**Bioclima.** Cada uno de los tipos de clima que se diferencian de acuerdo a los factores que afectan a los seres vivos. GLOSARIO.NET

**Calentador solar de agua.** Es un sistema que calienta agua sólo con la energía proveniente del sol y sin consumir gas o electricidad. Un calentador solar de agua consta principalmente de tres partes: El colector solar plano, que se encarga de capturar la energía del sol y transferirla al agua; el termotanque, donde se almacena el agua caliente; y el sistema de tuberías por donde el agua circula. En las ciudades donde se alcanzan temperaturas muy bajas durante las noches, los calentadores deben estar provistos de un dispositivo que evite el congelamiento del agua al interior del colector solar plano. CONAE

**Conjunto Habitacional.** 1.- Grupo de viviendas planificado y dispuesto en forma integral, con la dotación e instalación necesarias y adecuadas de los servicios urbanos: vialidad, infraestructura, espacios verdes o abiertos, educación, comercio, servicios asistenciales y de salud. CONAVI, SEDESOL. 2.- Desarrollos urbanos realizados por el INFONAVIT y exentos de gravámenes federales y locales, con el fin de que sean adquiridos por los trabajadores mediante créditos otorgados por el Instituto (Artículo 42 Ley INFONAVIT). CONAVI

**Desarrollo Sustentable:** es aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. (Comisión Bruntland, ONU, 1987). Existe un consenso en que el desarrollo sustentable está basado en tres pilares: social, económico y ambiental, los cuales están íntimamente relacionados.

**Ecotécnica.** Tecnologías intermedias que pueden ser utilizadas para ayudar al establecimiento de las comunidades o asentamientos ecológicos autosuficientes. El eco desarrollo es un estilo tecnológico que requiere de técnicas adecuadas para la realización de sus metas, de tal forma que tanto las ecotécnicas como las formas de organización social, educación e información son elementos fundamentales del ecodearrollo La ecotécnica debe hacer explícito su reconocimiento a que el hábitat del hombre forma parte del ecosistema.

**Eficiencia energética.** Es la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Se puede mejorar mediante la implantación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos de consumo en la sociedad. WIKIPEDIA

**Energías renovables.** Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

**Estímulos.** Las medidas jurídicas, administrativas, fiscales y financieras que aplicarán las autoridades competentes para promover y facilitar la participación de los sectores público, social y privado en la elaboración, modificación, ejecución y evaluación de los programas.

**Modelo** es un conjunto de principios que se caracterizan por hacer una fuerte abstracción sintética para representar los procesos esenciales de un fenómeno considerado como objeto de estudio. Generalmente está constituido por dos o más cuerpos teóricos y es factible formalizarlo desde una perspectiva matemática. Es ya una propuesta para la comprensión y explicación del fenómeno que modela. Adquiere forma cuando se aplica a un problema real, dentro de una metodología plasmada en papel o dentro de una perspectiva sistémica.

**Plan (o Programa).** Es el conjunto coordinado de metas, directrices, acciones y disposiciones que, relacionadas con las estrategias y tácticas requeridas para el desarrollo de un determinado modelo económico-social, instrumenta un proceso para alcanzar objetivos predeterminados. El plan es un proceso dinámico que requiere de la interacción entre los sectores considerados en él, así como de la coherencia y coordinación interinstitucional. SEDESOL.

**Residuo sólido.** Conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tienen utilidad práctica o valor comercial para la persona o actividad que los produce. [WWW.CEPIS.ORG.PE](http://WWW.CEPIS.ORG.PE)

**Sustentable/Sustentabilidad/Sostenido/Sostenible.** Es la característica que define a aquel tipo de desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad para que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades. Según esta definición, el desarrollo económico y social debe descansar en la sustentabilidad y como conceptos clave en las políticas de desarrollo sostenible, se identificaron los siguientes puntos:

- a. La satisfacción de las necesidades básicas de la humanidad: alimentación, vestido, vivienda, salud.
- b. La necesaria limitación del desarrollo impuesta por el estado actual de la organización tecnológica y social, su impacto sobre los recursos naturales y por la capacidad de la biosfera para absorber dicho impacto.

Para motivos del equipamiento urbano se establece que los análisis poblacionales (socioeconómico-culturales) del lugar donde se insertará el nuevo conjunto permitirán alcanzar la característica de "sustentable", mediante el estudio de modelos dinámicos (su evolución en el tiempo a mediano plazo y el espacio del contexto urbano inmediato al conjunto), de donde la capacidad que se podría comprometer como un recurso no renovable, es la dotación de suelo para equipamiento urbano. ONU.

**Tasa de Retorno Energético (TRE)** se calcula dividiendo la energía útil que dicho proceso nos retorna (ER) entre la energía útil (EI) que se invierte en desarrollar y mantener ese proceso de transformación  $TRE=ER/EI$ . Si poner en marcha y mantener un determinado proceso de obtención de energía a lo largo de su vida útil me ha supuesto utilizar 2 GJ, y durante todo ese tiempo he obtenido 40 GJ, la TRE es de 20. Obtengo veinte veces la energía invertida en el proceso, es por tanto un proceso rentable energéticamente. Sin embargo, un proceso con una TRE igual o menor de 1 no es rentable energéticamente, y se trataría más bien de un sumidero de energía. Cuando se trata de evaluar procesos de obtención de energía útil, la TRE debe ser lo más alta posible.

## 7.2 Ciudades de acuerdo a los nueve bioclimas presentados en México

### 7.2.1 Ciudades FV

Hoja de Resultados											
Combustible	Gas LP										
Ciudades	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Promedio
Resultado del análisis para:		Mexicali	Mérida	Chetumal	Tepic	Guadalajara	Oaxaca	Zacatecas(la bufa)	Toluca	Jalapa	
Número de usuarios:		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Área de colectores recomendada:	m2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tanque de almacenamiento:	l.	60	120	120	120	120	120	120	120	120	113.33
Vida útil del sistema calentador solar:	años	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20.00
Precio estimado del sistema:	M.N.	2,783	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	5,256.78
Ahorro mensual de gas LP:	m3	17	21	2	26	28	28	30	28	23	24.4647
Beneficio/Costo		1.9	1.3	1.2	1.6	1.8	1.7	1.9	1.7	1.4	1.6097
VPN	M.N.	2.539	1.411	1.196	3.389	4.207	4.061	4.996	4.096	2.120	3.112.89
TIR		0.2013	0.1149	0.1098	0.1589	0.1761	0.1731	0.1923	0.1738	0.1312	0.16
TRD		77	147	154	97	88	89	80	89	118	104.33
Recuperación de la Inversión:	años	6	12	13	8	7	7	7	7	10	8.6948
El proyecto es						RENTABLE					RENTABLE
FINANCIAMIENTO:	meses	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48.00
Enganche:	M.N.	-	0	1,669.8	1,669.8	1,669.8	1,669.8	1,669.8	1,669.8	1,669.8	1,298.73
Ahorro económico primer mes:	M.N.	55.40	69.25	67.45	85.79	92.64	91.41	99.23	91.70	75.18	80.90
Pago del préstamo (mensualidad fija):	M.N.	(100.20)	(200.41)	(140.29)	(140.29)	(140.29)	(140.29)	(140.29)	(140.29)	(140.29)	(142.51)
Diferencia pago primero:	M.N.	(44.80)	(131.16)	(72.84)	(54.50)	(47.65)	(48.87)	(41.05)	(48.58)	(65.11)	(61.62)
Diferencia pago último:	M.N.	(33.37)	(116.87)	(58.92)	(36.79)	(28.53)	(30.01)	(20.57)	(29.66)	(49.59)	(44.92)
Total pagado:	M.N.	4,809.82	9,619.65	8,403.55	8,403.55	8,403.55	8,403.55	8,403.55	8,403.55	8,403.55	8,139.37
Total pagado con ahorros de GLP:	M.N.	2,925.43	3,656.49	3,361.44	4,529.80	4,891.32	4,824.75	5,229.68	4,842.07	3,919.51	4,271.39
Total pagado por usuario:	M.N.	1,884.40	3,963.16	4,842.10	3,873.75	3,512.23	3,574.80	3,163.87	3,561.49	4,434.05	3,867.98
Radiación proyectada en el colector	MJ/m2	27.05	22.72	23.80	24.16	30.18	24.09	30.15	22.40	20.71	25.03
Temp mínima del mes/diseño	°C	19.60	22.20	22.10	12.50	13.70	15.20	12.50	6.70	15.70	15.58
Promedio mensual anual de gas LP	m3/mes	16.78	20.94	20.41	25.95	28.00	27.65	30.01	27.72	22.75	24.47
Características del colector solar											
Material de la Placa:		Cobre									
Espesor de la Placa:	m.	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Acabado de la Placa:		Pintura Negro Mate									
Material del Aislante:		Fibra de vidrio									
Espesor del Aislante:	m.	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254
Eficiencia promedio	%	48.53	48.73	48.64	49.11	48.76	48.77	49.17	49.84	49.85	49.04
Suposiciones empleadas para el análisis											
Mes utilizado para dimensionamiento		Junio	Mayo	Abril	Mayo	Mayo	Mayo	Mayo	Abril	Agosto	
Radiación en la superficie horizontal	MJ/m2	26.20	20.60	20.50	22.00	27.80	21.50	27.90	19.30	18.10	22.66
Radiación proyectada en el colector	MJ/m2	27.05	22.72	23.80	24.16	30.18	24.09	30.15	22.40	20.71	25.03
Tasa real de descuento	anual	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
Interés	anual	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Costo mantenimiento (c/5 años)	M.N.	800.00	800	800	800	800	800	800	800.00	800.00	800.00
Precio actual del gas (año 2000)	M.N./kg	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45	3.5	3.5	3.5

Gas Natural											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	Promedio		
Mexicali	Mérida	Chetumal	Tepic	Guadalajara	Oaxaca	Zacatecas(la bufa)	Toluca	Jalapa			
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
60	120	120	120	120	120	120	120	120	113		
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
2,783	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	5,256.78		
20,847,177.87	26,021,149.62	25,354,609.93	32,235,841.18	34,793,216.95	34,335,216.95	34,335,216.95	34,335,216.95	28,261,945.07	30,398.88		
0.370144279	0.289775525	0.278166765	0.414841371	0.466613894	0.466613894	0.466613894	0.466613894	0.334602961	0.3984		
-1752.832812	-3953.109431	-4028.855785	-3256.992933	-2948.821065	-3,020.29	-2691.149372	-3,020.29	-3703.599919	(3.154)		
#N/A											
#N/A	-26%	-24%	-24%	-39%	-44%	-43%	-48%	-43%	-31%		
#N/A											
NO RENTABLE											
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19.50	24.38	23.75	30.20	32.41	32.18	34.93	32.28	26.47	28.48		
(100.20)	(200.41)	(200.41)	(200.41)	(200.41)	(200.41)	(200.41)	(200.41)	(200.41)	(189.28)		
(80.70)	(174.03)	(176.66)	(170.21)	(167.80)	(168.23)	(165.48)	(168.13)	(173.94)	(160.80)		
(76.47)	(171.00)	(171.76)	(163.98)	(161.07)	(161.59)	(158.27)	(168.48)	(154.92)	(154.92)		
4,809.82	9,619.65	9,619.65	9,619.65	9,619.65	9,619.65	9,619.65	9,619.65	9,619.65	9,085.22		
1,029.87	1,287.23	1,253.78	1,594.68	1,721.94	1,699.21	1,844.58	1,704.61	1,397.43	1,503.70		
3,779.95	8,332.42	8,365.87	8,024.97	7,897.70	7,920.44	7,775.07	7,915.04	8,222.22	7,581.52		
27.05	22.72	23.80	24.16	30.18	24.09	30.15	22.40	20.71	25.03		
19.60	22.20	22.10	12.50	13.70	15.20	12.50	6.70	15.70	15.58		
20.85	26.02	25.35	32.24	34.79	34.35	37.29	34.44	28.26	30.40		
Cobre											
0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005		
Pintura Negro Mate											
Fibra de vidrio											
0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254		
48.53	48.73	48.64	49.11	48.76	48.77	49.17	49.84	49.85	49.04		
Junio	Mayo	Abril	Mayo	Mayo	Mayo	Mayo	Abril	Agosto			
26.20	20.60	20.50	22.00	27.80	21.50	27.90	19.30	18.10	22.66		
27.05	22.72	23.80	24.16	30.18	24.09	30.15	22.40	20.71	25.03		
8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%		
30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%		
800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00		
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		

## 7.2.2 Ciudades CSA

Hoja de Resultados																
Comprobable	Unidades	FV									Promedio	Tarifas CFE				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		por uso doméstico tarifa 01	doméstico tarifa 01	Hilos 1 al año		
Resultados del análisis para:	Tiempo de uso por día	Mexicali	Mérida	Chetumal	Tepic	Guadalajara	Oaxaca	Zacatecas/Ja. Bufo	Toluca	Jalapa	Uni-Solar US-64	Uni-Solar US-64				
Arreglo Fotovoltaico		Uni-Solar US-64	Uni-Solar US-64	Uni-Solar US-65	Uni-Solar US-64	Uni-Solar US-64	Uni-Solar US-64	Solec SQ-90	Uni-Solar US-64	Uni-Solar US-64	Uni-Solar US-64	Uni-Solar US-64				
Voltaje a la carga	V	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	17.1	16.5	16.5	16.5				
Corriente a la carga	A	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	5.16	3.88	3.88	3.88				
Características de los módulos		Película delgada	Película delgada	<b>Película delgada</b>	Película delgada	Película delgada	Película delgada	Monocristalino	Película delgada	Película delgada	Película delgada	Película delgada				
Requerimiento diario de energía	Wh-día	21944.93177	21944.93177	<b>21,944.93</b>	21980.01949	21980.01949	21944.93177	21944.93177	21944.93177	22032.65107	21953.7037	2.1954E-05				
Horas de sol máximo (equivalente)	h	6.801124861	4.366253057	<b>4.52</b>	4.890747415	5.141188399	5.378030606	5.544357893	4.836299538	3.725552831	5.184232999					
Tensión nominal del arreglo	V	24	24	<b>24</b>	24	24	24	24	24	24	24	24				
Corriente requerida del arreglo	A	135.8	209.52	<b>203.7</b>	188.18	178.48	170.72	165.12	190.12	248.32	180.205					
Número de módulos por serie		2	2	<b>2</b>	2	2	2	2	2	2	2					
Corriente por serie de módulos	A	3.88	3.88	<b>3.88</b>	3.88	3.88	3.88	3.88	5.16	3.88	3.88					
Número de series		35	54	<b>52</b>	48	46	44	32	49	64	45					
Número total de módulos		70	108	<b>104</b>	96	92	88	64	98	128	90	135				
Potencia total instalada	W	4480	6912	<b>6656</b>	6144	5888	5632	5760	6272	8192	5968					
Precio unitario	USD	355	355	<b>355</b>	355	355	355	475	355	355	370					
Precio total (estimado) del arreglo	USD	24850	38340	<b>36920</b>	34080	32660	31240	30400	34790	45440	32910					
Controlador de carga																
Corriente corregida del campo	A	169.75	261.9	<b>254.625</b>	235.225	223.1	213.4	206.4	237.65	310.4	225.25625					
Voltaje nominal del campo	V	24	24	<b>24</b>	24	24	24	24	24	24	24					
Controlador				<b>Condumex CCX24/50/50</b>							<b>Condumex CCX24/50/50</b>					
Voltaje nominal	V	24	24	<b>24</b>	24	24	24	24	24	24	24					
Corriente nominal	A	50	50	<b>50</b>	50	50	50	50	50	50	50					
Unidades en paralelo		2	2	<b>2</b>	2	2	2	2	2	2	2					
Precio unitario		1136.975904	1136.975904	<b>1,136.98</b>	1136.975904	1136.975904	1136.975904	1136.975904	1136.975904	1136.975904	1136.975904					
Precio	USD	2273.951807	2273.951807	<b>2,273.95</b>	2273.951807	2273.951807	2273.951807	2273.951807	2273.951807	2273.951807	2273.951807					
Inversor																
Máxima potencia en CA	W	5750	5750	<b>5750</b>	5787.5	5787.5	5750	5750	5750	5750	5750	5750				
Inversor				<b>Trace DR3624</b>							<b>Trace DR3624</b>					
Voltaje de entrada	VCD	24	24	<b>24</b>	24	24	24	24	24	24	24					
Voltaje de salida	VCA	120	120	<b>120</b>	120	120	120	120	120	120	120					
Tipo de onda		Senoidal	Senoidal	<b>Senoidal</b>	Senoidal	Senoidal	Senoidal	Senoidal	Senoidal	Senoidal	Senoidal					
Potencia a 60 Hz	W	3600	3600	<b>3600</b>	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600					
Número de inversores en paralelo		2	2	<b>2</b>	2	2	2	2	2	2	2					
Precio unitario	USD	1255	1255	<b>1255</b>	1255	1255	1255	1255	1255	1255	1255					
Precio	USD	2510	2510	<b>2510</b>	2510	2510	2510	2510	2510	2510	2510					
Instalación y Accesorios	USD	9443.487952	9444.487952	9445.487952	9446.487952	9447.487952	9448.487952	9449.487952	9450.487952	9451.487952	<b>9446.987952</b>					
Precio estimado del sistema Paneles+conv	USD	39077.43976	52568.43976	51149.43976	48310.43976	46891.43976	45472.43976	44633.43976	49024.43976	59675.43976	<b>47140.93976</b>					
Precio por Watt instalado	USD/W	8.722642803	7.605387697	7.684711502	7.863027305	7.963899416	8.073941719	7.748861069	7.816396645	7.28459958	<b>7.934458519</b>					

Precio por Watt instalado red electrica???)

Costo de producción de electric 4.6734375 pesos/KWh

Conversión IPCC Watt a CO2 0.667

Costo por kWh en vivienda 102.5992622 pesos/KWh

Costo por kWh en vivienda 7.328518725 USD/día

2674.909335 USD/año

