



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS
TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL USO DE
CALENTADORES SOLARES DE AGUA**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA

SISTEMAS - INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

P R E S E N T A:

L. I. LOURDES YOLANDA FLORES SALGADO

TUTOR:

M. en I. HIRAM RUIZ ESPARZA GONZÁLEZ



2009

A Dios

*“Bendice al Señor, alma mía,
alabe todo mi ser su Santo Nombre.
Bendice, alma mía, al Señor,
y no olvides ninguno de sus beneficios.”*

Sal 103:1,2

*“Te doy gracias, Señor, de todo corazón,
pues oíste las palabras de mi boca.
Canto para ti en presencia de los ángeles,
y me postro ante tu Templo santo.
Doy gracias a tu Nombre
por tu amor y tu verdad,
pues tu palabra ha superado tu renombre.”*

Sal 138:1,2

A María

*“Como fuerza que apoya mi esperanza,
en medio de las sombras,
en medio de la luz,
alentando los pasos de mi vida,
siguiendo mis caminos,
también caminas tú.”*

Fuerza de mi esperanza, canción mariana.

A mi madre

Sra. Yolanda Salgado del Río (1934-2007) †

Gracias mamá por todo lo que me diste,
por lo que me enseñaste, por compartir tu vida conmigo,
tu alegría, tu dolor, tu sufrimiento.
Por luchar hasta el final y aún así apoyarme en todo.
Por ser no sólo mi madre sino mi mejor amiga,
Te llevaré en mi alma y en mi corazón por siempre.

A mi padre

Sr. Margarito Flores

Gracias papá por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, por tu compañía y tu inmenso amor. Gracias por tu apoyo y tu paciencia, por escucharme y aconsejarme, por preocuparte por mí. Por ser el mejor padre del mundo. Te quiero con toda el alma.

Al amor de mi vida

Mando

¡Sin ti no lo hubiera logrado!

Gracias por tu amor incondicional. Por apoyarme, por ayudarme a encontrar el camino cuando estaba perdida, por tu paciencia y comprensión. Por ser mi amigo, mi esposo, mi compañero, mi confidente y mi paño de lágrimas. Por compartir conmigo la alegría de vivir y de seguir adelante. Por que me haces superarme cada día en todos los aspectos de mi vida. Te amo.

A Karla y Elvia

Por ser parte de mi familia y permitirme ser parte de la suya.
Por todo lo que compartimos. Por su apoyo y amistad. Gracias.

(Karli TKM)

A mis suegros

Sr. Octavio y Sra. Victorina

Por aceptarme en su casa y en sus vidas, en su familia. Por todo su apoyo, sus consejos y oraciones.

A mis cuñados

Octavio y Adolfo

Por la confianza y amistad que siempre me han brindado.

(Octavio, por toda tu ayuda)

A mis compadres

Victoria y Alfredo y a mis ahijadas Vane y Bere

Por ser una hermosa familia. Por la alegría que traen a mi vida, por su apoyo y cariño.

A mi director de tesis

M. en I. Hiram Ruiz Esparza González (FI-UNAM)

Gracias Hiram por apoyarme en la realización de este proyecto.
Por ser mi tutor, mi maestro y mi amigo.
Por tu tiempo y dedicación, tu paciencia y tus consejos.

A mi co-director (no oficial), y miembro de mi jurado asignado

Dr. Armando Rojas Morín (FI-UNAM/Plataforma Solar de Almería, España)

Gracias por ayudarme en la faena.

Por tus consejos, tus explicaciones, tu infinita paciencia. Por todas las veces que trasnochaste conectado al messenger, sin importar la diferencia de horario para ayudarme o corregirme. Por presentar mi póster en el Congreso Ibérico e Iberoamericano de Energía Solar. Por todo tu apoyo y dedicación.

A mis colegas y amigos

Reyna, Leo, Arión y Adrián

Por compartir conmigo mis penas y mis alegrías, por su apoyo moral y sobre todo por su amistad.

A mis amigos

Sandra y Joaquín

Por su amistad.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por ser mucho más que mi alma máter. Por que la llevo en mi corazón y es parte de mi vida.

A la Facultad de Ingeniería

Por permitirme ser parte de su comunidad, por todo lo que aprendí.

A mis profesores

Dr. Ricardo Aceves García
Dr. José Jesús Acosta Flores
Mtro. Rubén Téllez Sánchez

Por dejar una huella imborrable en mi vida, por su enseñanza, ejemplo y dedicación.

A la DGSCA

Al Departamento de Supercómputo

Por darme todas las facilidades, apoyo, recursos y tiempo para realizar este trabajo.

ÍNDICE

Lista de figuras	iv
Lista de Tablas	vi
Resumen	vii
Abstract	vii
1 Introducción y Antecedentes.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Efecto Invernadero	1
1.1.2 Calentamiento Global	2
1.1.3 Clima, variaciones climáticas, Calentamiento Global y Cambio Climático	3
1.1.4 Respuesta internacional al Cambio Climático	5
1.1.5 Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)	6
1.1.6 Protocolo de Kioto	8
1.1.7 México ante el Cambio Climático	9
1.1.8 Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Sustentabilidad Ambiental ...	10
1.2 Justificación del proyecto.....	12
1.3 Trabajos anteriores relacionados con la utilización de calentadores solares de agua en México	12
1.4 Objetivo del Trabajo	14
1.5 Alcance y Limitaciones	15
1.6 Estructura del trabajo de tesis	15
2 Calentamiento de agua en el sector residencial	17
2.1 Sector Energético Mexicano	17
2.1.1 Fuentes de energía	17
2.1.2 Producción de energía primaria en México	18
2.1.3 Consumo final total de energía	19
2.1.4 Consumo final energético por sectores	21
2.2 Tecnologías para calentamiento de agua en el sector residencial.....	23
2.2.1 Calentadores de agua convencionales.....	23
2.2.2 Calentadores solares de agua.....	26
2.3 Potencial del calentamiento de agua con energía solar en México.....	30
2.4 Barreras en el uso de la energía solar para calentamiento de agua en México.....	32
2.5 Iniciativas para el uso de la energía solar para el calentamiento de agua en México.....	33

3	Metodología para el análisis técnico	38
3.1	Descripción del sistema híbrido	38
3.2	Metodología para el análisis técnico (energético y ambiental)	41
3.2.1	Calentador Solar	41
3.2.1.1	Radiación solar total y horario de operación	41
3.2.1.2	Rango de temperaturas en la operación del calentador solar.....	41
3.2.1.3	Eficiencia térmica del calentador solar.....	42
3.2.1.4	Energía útil	43
3.2.1.5	Volumen de agua	44
3.2.2	Calentador de agua convencional	47
3.2.2.1	Calor útil	47
3.2.2.2	Eficiencia térmica del calentador convencional	48
3.2.2.3	Calor suministrado	48
3.2.2.4	Volumen del combustible	49
3.2.2.5	Masa del combustible	49
3.2.2.6	Emisiones generadas por el calentamiento de agua con combustibles fósiles	50
4	Metodología para el análisis económico	51
4.1	Evaluación de proyectos	51
4.1.1	Proyectos de inversión	52
4.1.2	Estudios de factibilidad	53
4.1.3	Proceso de un proyecto de inversión	53
4.2	Metodología para el análisis económico	54
4.2.1	Determinación de los costos de combustible	56
4.2.1.1	Gas LP	56
4.2.1.2	Gas Natural	56
4.2.2	Determinación de los ahorros de combustible	58
4.2.3	Inversión inicial del proyecto	58
4.2.4	Tasa mínima de rendimiento	59
4.2.5	Aplicación de los métodos para la evaluación económica	59
4.2.5.1	Métodos de evaluación económica que toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo	59
4.2.5.2	Métodos de evaluación económica que no toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo	60
5	Desarrollo de la herramienta HIFUCSA	62
5.1	Diseño conceptual del sitio Web	62
5.2	Análisis de datos	65
5.2.1	Evaluación Técnica	65
5.2.2	Evaluación Económica	65
5.3	Diseño del programa	68
5.4	Requerimientos de software	70
5.5	Vistas de la herramienta	70

6	Análisis de resultados	74
6.1	Análisis técnico	75
6.2	Análisis económico	84
	Conclusiones y recomendaciones	88
	Bibliografía y fuentes de consulta	91

Lista de Figuras

Figura 1.1	Efecto Invernadero	2
Figura 1.2	Variaciones en la temperatura global planetaria	3
Figura 1.3	Frente a la isla Bloomstrandbreen, Noruega. Diferencias entre 1928 y 2002	5
Figura 2.1	Producción de energía primaria, año 2006, (10,619.005 PJ)	18
Figura 2.2	Consumo final total de energía	19
Figura 2.3	Distribución de consumo final total de energía, año 2006, en PJ	20
Figura 2.4	Consumo final energético por sector, año 2006, (4,237.144 PJ)	21
Figura 2.5	Consumo de energía del sector residencial, comercial y público, año 2006, en PJ	22
Figura 2.6	Consumo de energía por tipo de combustible: sector residencial, año 2006, en PJ	22
Figura 2.7	Esquema del calentador de agua de depósito	25
Figura 2.8	Calentador instantáneo	26
Figura. 2.9	Calentador solar de agua con colector plano	27
Figura. 2.10	Partes internas de un colector solar plano	28
Figura 2.11	Funcionamiento del calentador solar plano	28
Figura 2.12	Colector solar de tubos evacuados	30
Figura 2.13	Evolución del precio del gas LP y el gas natural para el sector doméstico en México (2002 a 2006)	31
Figura 2.14:	Evolución esperada en metros cuadrados de calentadores solares instalados en México (2008 a 2012)	36
Figura 3.1	Descripción del sistema híbrido para el calentamiento de agua en una casa habitación	39
Figura 3.2	Metodología para el análisis técnico y ambiental	40
Figura 3.3	Curva de eficiencia térmica de un calentador solar	43
Figura 4.1	Metodología para el análisis económico	55
Figura 5.1	Mapa conceptual del sitio Web	63
Figura 5.2	Página inicial de la herramienta desarrollada	64
Figura 5.3	Vista de los resultados de la evaluación generada por la herramienta. Evaluación energética	67
Figura 5.4	Diagrama de Flujo. Análisis técnico	68
Figura 5.5	Diagrama de flujo. Análisis Económico	69
Figura 5.6	Forma para introducción de datos. Módulo de Evaluación	71
Figura 5.7	Vista de presentación de resultados. Módulo de Evaluación Evaluación ambiental	72
Figura 5.8	Vista de presentación de resultados. Módulo de Evaluación Evaluación económica	73
Figura 6.1	Irradiación solar global promedio suministrada para cada mes del año en la zona metropolitana de la Ciudad de México	75
Figura 6.2	Eficiencia térmica del CSA y convencional	76
Figura 6.3	Caso 1. Volumen producido de agua caliente al día por el CSA y requerido por familia al día y por mes	77
Figura 6.4	Caso 2. Volumen producido de agua caliente al día por el CSA y requerido por familia al día y por mes	78

Figura 6.5	Caso 1. Volumen del combustible consumido en un mes (gas natural)	79
Figura 6.6	Caso 2. Volumen del combustible consumido en un mes (gas natural)	80
Figura 6.7	Caso 1. Emisiones generadas por el calentamiento de agua con combustibles fósiles (gas natural)	81
Figura 6.8	Caso 2. Emisiones generadas por el calentamiento de agua con combustibles fósiles (gas natural)	82
Figura 6.9	Caso 1. Ahorros anuales	84
Figura 6.10	Caso 2. Ahorros anuales	86

Lista de Tablas

Tabla 2.1	Producción de energía primaria, año 2006, en PJ	19
Tabla 2.2	Consumo final total de energía, año 2006, en PJ	20
Tabla 2.3.	Consumo de energía por tipo de combustible: sector residencial, comercial y público, año 2006 en PJ	23
Tabla 2.4.	Potencial estimado en México de instalación de sistemas de calentamiento solar de agua (m ² al año).	32
Tabla 2.5	Aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en México, 2006.....	36
Tabla 2.6.	Metros cuadrados instalados de colectores solares y estimación de ahorro de GLP, proyección 2007-2016	37
Tabla 2.7.	Metros cuadrados instalados de colectores solares y estimación de ahorro de GN , estimación 2007-2016	37
Tabla 3.1.	Valores de radiación solar total promedio mensual en la zona metropolitana de la Ciudad de México	41
Tabla 3.2	Temperatura de entrada del agua de alimentación, dependiendo del clima	42
Tabla 3.3	Temperatura de operación para colectores solares, según su aplicación	42
Tabla 3.4	Densidad y Poder calorífico inferior de los combustibles GLP y GN	48
Tabla 3.5	Factor de emisión del GLP y GN	50
Tabla 6.1	Casos de estudio seleccionados	74
Tabla 6.2	Comparación de situaciones “con proyecto” y “sin proyecto”	83
Tabla 6.3	Caso 1. Comparación de situaciones “con proyecto” y “sin proyecto”	85
Tabla 6.4	Caso 2. Comparación de situaciones “con proyecto” y “sin proyecto”	85
Tabla 6.5	Evaluación económica	87

RESUMEN

En México se tiene una gran captación de energía solar diaria debido a sus condiciones geográficas privilegiadas. Por lo que, si se instalaran colectores solares para el calentamiento de agua en forma masiva, se lograrían ahorros considerables en el consumo de combustibles fósiles, obteniendo al mismo tiempo una importante disminución en las emisiones de CO₂. Para dar a conocer y fomentar el aprovechamiento de la energía solar y concientizar en el aspecto ecológico, se ha desarrollado una metodología de evaluación tanto técnica como económica, la cual permitirá conocer los ahorros energéticos y ambientales que se pueden obtener acoplado un calentador solar de agua a uno residencial para el calentamiento de agua para ducha en casa-habitación. Asimismo, se ha aplicado esta metodología a través de la construcción de una nueva herramienta interactiva llamada HIFUCSA, cuyo principal objetivo es servir como apoyo a las familias que habitan la Ciudad de México o su zona metropolitana, en el proceso de decidir sobre la compra o adquisición de un Calentador Solar de Agua. Es importante mencionar que para lograr los objetivos propuestos en la presente tesis se utiliza un enfoque de evaluación de proyectos que permite determinar cuantitativamente los beneficios económicos y ambientales, presentándolos en forma clara e ilustrativa.

ABSTRACT

Mexico's geographical situation grants it a privileged condition for daily solar energy collection rates. Massive installation of domestic solar collectors for heating water could make considerable savings in fossil fuel consumption and simultaneously would reduce CO₂ emissions. In Order to promote the use of solar energy and to raise awareness of environmental ills, we have developed a new methodology for technical and economical evaluation. This methodology will be helpful to get energetic and environmental benefits than can be get if by add a solar collector to a conventional technology. Besides, we have implemented the methodology through a new interactive tool called HIFUCSA for technical and economical analysis of domestic solar collectors. The main idea of this tool is to help Mexican families who live in Mexico City (or its metropolitan area) to decision making process about purchase a solar collector. The methodology doesn't decide by itself, instead it uses a valuation project point of view to support them, showing the economic and environmental benefits in an illustrative form.

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

A lo largo de la historia, el hombre se ha visto en la necesidad de utilizar distintas fuentes de energía para llevar a cabo sus actividades; sin embargo, a partir del siglo XIX con el advenimiento de la Revolución industrial comenzó una explotación a gran escala de combustibles fósiles, especialmente el carbón, el petróleo y el gas natural.

Si bien el mundo requiere grandes cantidades de energía para mantener el confort de la vida moderna, el modelo de consumo energético basado en la quema de combustibles fósiles es insostenible debido a dos causas principales: la primera es que los yacimientos de dichos combustibles se están agotando y la segunda, que es una razón de fondo, es que ocasiona graves trastornos ambientales, uno de los cuales comienza ya a tener serias consecuencias en todo el planeta y que se denomina Calentamiento Global.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Efecto Invernadero

El Efecto Invernadero es un fenómeno natural que siempre ha existido como consecuencia de la composición de la atmósfera, y por medio del cual se mantiene una temperatura media global en la superficie de la Tierra adecuada para el surgimiento y la evolución de la vida.

Si bien la atmósfera está compuesta principalmente por Oxígeno (O_2) y Nitrógeno (N_2), éstos no son gases de efecto invernadero. Los gases que producen dicho fenómeno y que se encuentran de manera natural en la atmósfera son principalmente el vapor de agua (H_2O) y el dióxido de carbono (CO_2), además una serie de gases conocidos como gases traza como el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono (O_3).^[1] El Efecto Invernadero resulta a partir de la presencia de estos gases en la atmósfera.



Fuente: IPCC Cambio Climático 2001. La base científica. Resumen técnico.
Figura 1.1 Efecto Invernadero.

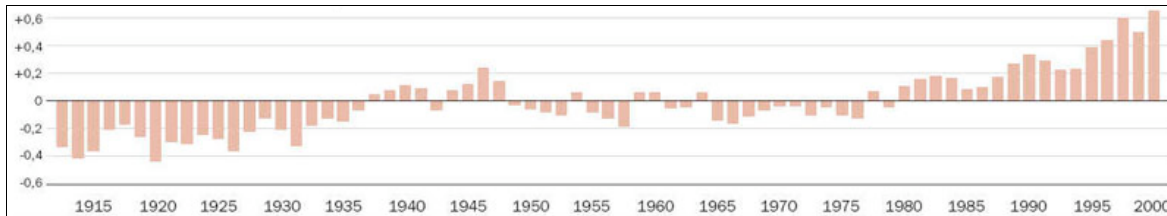
Se puede observar que cuando la luz del Sol llega a la Tierra (figura 1.1), alguna de esta energía es reflejada en las nubes; el resto atraviesa la atmósfera y llega al suelo donde es absorbida por la superficie del planeta (y todos sus componentes). Pero no toda esa energía proveniente del Sol es aprovechada, una parte es regresada al espacio y otra es devuelta a la superficie del planeta por la atmósfera. Como la temperatura de la Tierra es mucho más fría que la del Sol, la Tierra no puede devolver la energía en forma de luz y calor, por lo que la envía de una manera diferente, por medio de la llamada "radiación infrarroja".^[2]

Los gases de efecto invernadero (GEI) absorben la radiación infrarroja como una esponja, calentando tanto la superficie de la Tierra como el aire que la rodea. Durante millones de años este fenómeno, normal y natural, mantuvo el clima de la Tierra a una temperatura media relativamente estable, cuyo valor típico (promedio anual y global) es de +15°C. Sin embargo, a partir del siglo XIX esta situación ha sido alterada de manera anormal y artificialmente por el progreso humano, debido a que la industrialización ha inyectado a la atmósfera altas concentraciones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles y la deforestación, así como gases producidos en forma artificial como los clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) (a los que se denomina colectivamente halocarbonos), y las especies totalmente fluorinadas, como el hexafluoruro de azufre (SF₆).^[3] Este incremento en la presencia de GEI tanto naturales como artificiales en la atmósfera trae como consecuencia el aumento del Efecto Invernadero, pues a mayor cantidad de gases absorbedores presentes atrapan más radiación infrarroja en el sistema impidiendo la disipación del calor solar que penetra en la Tierra, lo cual provoca un aumento en la temperatura global planetaria.

1.1.2 Calentamiento Global

El Calentamiento Global se refiere a un incremento promedio en la temperatura global de la Tierra, que trae como consecuencia cambios en el clima.

Científicos de todo el mundo han reconocido que desde mediados del siglo XIX a la fecha, la temperatura superficial terrestre ha sufrido diversas variaciones. En la figura 1.2 se observa que estas variaciones durante el siglo XX, van desde -0.4°C a principios de siglo, hasta $+0.6^{\circ}\text{C}\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ a finales del mismo.^[4] De hecho, la última década del siglo XX fue la más cálida en el registro instrumental de temperatura global total, comenzando a mediados del siglo XIX. Esos 10 años se encuentran entre los 15 más cálidos, incluyendo los 6 años más cálidos registrados.^[5]



Fuente: IPCC Cambio Climático 2001. La base científica. Resumen técnico.

Figura 1.2 Variaciones en la temperatura global planetaria.

Con el fin de determinar si este fenómeno era atribuible o no a la influencia humana, el Programa de Paleoclimatología de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) en los EUA, llevó a cabo diversos estudios. Los científicos de la NOAA determinaron que las recientes temperaturas cálidas registradas en la década de los 90 son ciertamente las temperaturas más cálidas habidas en el planeta, por los menos en los últimos 1000 años. Sin embargo, también determinaron que en algunos periodos como el Holoceno Medio (hace aproximadamente 6000 años) hubo temperaturas más altas, pero éstas sólo se registraron durante el verano y únicamente en el Hemisferio Norte. Igualmente durante el penúltimo Periodo Interglaciario o Eemiano, las temperaturas fueron más cálidas pero sólo en el continente, mientras que los océanos eran más fríos que en la actualidad.^{[6][7]}

De esta forma, los estudios paleoclimáticos parecen confirmar que “el singular Calentamiento Global del siglo XX puede no ser necesariamente la época más cálida en la historia de la Tierra, lo que es singular es que el calentamiento es global y no puede ser explicado por los mecanismos de los forzantes naturales”.^[7]

1.1.3 Clima, variaciones climáticas, Calentamiento Global y Cambio Climático

El tiempo es el estado de las condiciones atmosféricas en una región, en un momento determinado. Por ejemplo, se puede hablar del tiempo en términos de frío/calor, húmedo/seco, calmo/tormentoso o soleado/nublado. Por su parte, el clima se refiere a un patrón promedio de las condiciones del tiempo en un periodo determinado que puede ser de un mes, una estación, una década o un siglo, por mencionar algunos.

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. A diferencia del concepto tradicional del clima, hoy en día se piensa en éste como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio.^[4]

Cuando un parámetro meteorológico se sale de su valor promedio en muchos años, se puede hablar de una anomalía climática. Si bien las variaciones climáticas han existido desde siempre a consecuencia de diversos fenómenos naturales (como los cambios fraccionales en la radiación solar, las erupciones volcánicas y las fluctuaciones naturales en el propio sistema climático), el problema del Calentamiento Global es que en el último siglo el ritmo de las variaciones de la temperatura media global de la Tierra se ha acelerado de manera anómala, afectando la vida planetaria a consecuencia del Cambio Climático, el cual ha influido en un conjunto diverso de sistemas físicos y biológicos de muchas partes del mundo.

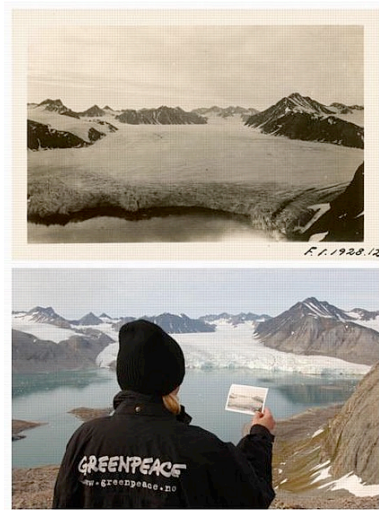
Aún cuando las magnitudes en las alteraciones a los diversos ecosistemas varían a escala regional, se habla de que algunos de los principales efectos producidos por el Cambio Climático son:

- Aumento e intensificación de catástrofes como tormentas e inundaciones.
- Alargamiento de temporadas de calor, desertificación y sequías.
- Recesión generalizada en los glaciares de montaña en las regiones no polares, y disminución de la extensión de hielos marinos (figura 1.3).
- Aumento del nivel de los océanos.
- Desplazamiento de especies de plantas y animales, disminución de poblaciones, extinción de algunas especies y pérdida de la diversidad biológica.

Con respecto al impacto directo sobre los seres humanos, se pueden incluir también:

- Aumento en el número de personas expuestas a enfermedades infecciosas, respiratorias y cardiovasculares, así como a los efectos producidos por la exposición al calor como son la insolación y deshidratación.
- Fracasos en cultivos en áreas vulnerables
- Escasez de agua.

Así, son cada vez más frecuentes los impactos de un clima anómalo o extremo en diversos sectores de la actividad humana, provocando daños cada vez más costosos, lo cual ha llevado a la sociedad, incluyendo a las instituciones de gobierno, a interesarse en el tema del Cambio Climático Global.



Fuente: ©Greenpeace / Aslund, Christian.

Figura 1.3. Frente a la Isla Bloomstrandbreen, Noruega.
Diferencias entre 1928 y 2002.

1.1.4 Respuesta internacional al Cambio Climático

Entre las dificultades existentes para hacer frente al Cambio Climático están su carácter global y la desconexión territorial entre las emisiones de GEI y los impactos que causan. Las consecuencias de dichos impactos no son uniformes en todo el planeta y a esto se suma que tienen lugar en un contexto de desarrollo económico desequilibrado; los países en vías de desarrollo sufren más que los países desarrollados, ya que su falta de recursos los hace más vulnerables a la adversidad y a las emergencias de gran escala.

Los efectos de las emisiones de GEI sobre el sistema climático son independientes del país donde se encuentra la fuente emisora. Es decir, las emisiones de unos perjudican a todos, y las medidas de limitación de tales emisiones benefician a todos, independientemente de quién haga el esfuerzo. Es por ello que resulta imposible atajar el problema sin la participación de todos.^[8]

Por ello, es fundamental que todos los países se pongan de acuerdo y actúen de forma coordinada, cada cual conforme a sus circunstancias y responsabilidades. Además, es necesario que cada país lleve a cabo acciones nacionales y locales, aunque si no se efectúen acuerdos multilaterales con otros países.

1.1.5 Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)

En 1988, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el cual tiene como objetivo fundamental profundizar en el conocimiento sobre el fenómeno del calentamiento global.

La función del IPCC consiste en analizar de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente la información científica, técnica y socio-económica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo.^[9]

El papel del IPCC es aconsejar a los responsables de tomar decisiones políticas acerca del estado actual del conocimiento y proporcionar información pertinente y fiable del cambio climático. El IPCC no realiza ninguna investigación científica por sí mismo, sino que basa su evaluación principalmente en la literatura científica y técnica internacional que ya ha sido publicada por la comunidad científica mundial.

El IPCC está formado por tres grupos de trabajo y un equipo especial.

- Grupo de trabajo I.
Evalúa los aspectos científicos del sistema climático y del cambio climático.
- Grupo de trabajo II.
Evalúa la vulnerabilidad de los sistemas socio-económicos y naturales al cambio climático, las consecuencias negativas y positivas de dicho cambio y las posibilidades de adaptación al mismo.
- Grupo de trabajo III
Evalúa las posibilidades de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y de atenuar los efectos del cambio climático.
- Equipo especial sobre los inventarios nacionales de GEI.
Se encarga del programa del IPCC sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Los Informes de Evaluación del IPCC, publicados aproximadamente cada cinco años, han llegado a ser obras de consulta extensamente utilizadas por los responsables políticos, científicos, expertos y estudiantes. Además de estos informes, el IPCC produce también una gran variedad de informes metodológicos, informes especiales y documentos técnicos a petición de los gobiernos interesados, las organizaciones intergubernamentales o los tratados internacionales. Cabe señalar que los autores de estos documentos e informes provienen de universidades, centros de investigación y asociaciones de protección ambiental de diversos países, quienes son designados por gobiernos y por organizaciones internacionales tanto de países desarrollados como de países en desarrollo y con economías emergentes.

Desde su creación, el IPCC ha publicado informes de evaluación en 1990, 1995, 2001 y 2007. Cada informe contiene tres volúmenes (uno de cada grupo de trabajo) y un resumen para responsables de políticas. Dichos informes se publican en los seis idiomas oficiales de las Naciones Unidas: árabe, chino, español, francés, inglés y ruso.

El Primer Informe de Evaluación del IPCC, realizado en 1990, causó conmoción en el mundo, pues confirmó la existencia científica del cambio climático y sus posibles consecuencias; fue la base científica para la negociación del Convenio Marco de la ONU sobre Cambio Climático (CMNUCC), el cual fue concluido en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992.

Por su parte, el Segundo Informe de Evaluación “Cambio Climático 1995” concluyó que: "El conjunto de las evidencias sugiere una influencia humana discernible sobre el clima global". Este informe fue decisivo en la negociación del Protocolo de Kioto en diciembre de 1997, el mayor instrumento internacional para enfrentar el calentamiento global.^[10]

El Tercer Informe de Evaluación, "Cambio climático 2001", presentó una actualización en diferentes aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos políticamente relevantes sobre el cambio climático, haciendo hincapié en los cambios detectados y las implicaciones de las diferentes alternativas socioeconómicas para reducir los impactos negativos del cambio climático y las medidas adoptadas en la lucha contra sus causas.^[8] El IPCC subraya que “los impactos adversos serán más graves cuanto mayores sean las emisiones acumuladas de gases de efecto invernadero y sus consiguientes cambios climáticos”, asimismo concluye que “las medidas para la reducción de GEI (mitigación) atenuarían las presiones sobre los sistemas naturales y humanos debidas al Calentamiento Global”

El Cuarto y último informe presentado por el IPCC, dado a conocer en noviembre de 2007 durante la 27a. Reunión de Científicos y Expertos sobre el Cambio Climático, está más orientado a dar respuesta a los aspectos políticos más relevantes para luchar contra la amenaza que supone. Por ello, se da un mayor énfasis a la evaluación de los impactos del cambio climático y a las estrategias de limitación y adaptación para combatir sus causas y minimizar sus efectos.

Según el IPCC “el cambio climático es inequívoco, tal y como se hace evidente en la actualidad por las observaciones de los aumentos en las temperaturas medias globales del aire y el océano, el derretimiento disperso de nieve y hielo, y el aumento global del nivel medio del mar”.^[11]

Algunos aspectos relevantes de este informe son:

- Las emisiones globales anuales de GEI debidas a las actividades humanas han crecido desde la era preindustrial, con un incremento del 70% entre 1970 y 2004.
- La mayoría de los aumentos observados en las temperaturas medias del globo desde la mitad del siglo XX son, muy probablemente, debidos al aumento observado en las concentraciones de GEI antropogénicas.

- Las nuevas evidencias muestran que las influencias humanas perceptibles se extienden más allá de la media de temperatura a otros aspectos del clima.
- Hay un alto nivel de acuerdo y mucha evidencia de que con las políticas actuales de mitigación del cambio climático y las prácticas de desarrollo sostenible relacionadas, las emisiones globales de GEI continuarán creciendo durante las próximas décadas.^[12]

En este sentido, el IPCC alerta sobre las posibles consecuencias del cambio climático:

- Se prevén importantes extinciones de la biodiversidad, tanto en animales como en plantas de todo el mundo.
- Riesgo de eventos climáticos extremos como aumento de sequías, olas de calor e inundaciones, así como en sus impactos adversos.
- Existe una evidencia creciente de mayor vulnerabilidad entre regiones y grupos, donde aquellos que se encuentran en las posiciones más débiles serán los más vulnerables al cambio climático.

Asimismo, afirma que tales impactos pueden ser reducidos, retrasados o evitados si se llevan a cabo acciones para mitigarlos y propone mecanismos para ello. De igual forma indica que las energías renovables tienen un efecto positivo tanto en la seguridad energética como en el empleo y la calidad del aire, generalmente. El IPCC predice que las energías renovables podrían lograr una contribución del 30-35% al suministro total de electricidad en 2030 y añade que los bosques y la agricultura pueden tener un papel significativo para reducir las concentraciones atmosféricas de CO₂.^[12]

Aunque dicho informe no da recomendaciones específicas para los responsables de tomar decisiones políticas, resume un rango de opciones que los políticos deberían considerar para abordar el cambio climático.

Cabe mencionar que como un reconocimiento al trabajo realizado por el IPCC, éste fue galardonado con el premio Nobel de la Paz 2007 por “sus esfuerzos para construir y difundir un mayor conocimiento sobre el cambio climático causado por el hombre y poner las bases para las medidas para contrarrestar ese cambio”.

1.1.6 Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto (PK) es el instrumento más importante destinado a luchar contra el cambio climático. Se trata de un acuerdo internacional al que llegaron los gobiernos en la Conferencia de las Naciones Unidas celebrada en Kioto, Japón, en 1997, para reducir la cantidad de GEI emitidos por los países desarrollados en un 5% respecto a los niveles registrados en 1990 durante el periodo comprendido entre 2008 y 2012.

Para alcanzar este objetivo, el Protocolo propone una serie de medios como: reforzar o establecer políticas nacionales de reducción de las emisiones (incremento de la eficiencia energética, fomentar las formas de agricultura sostenibles, desarrollo de fuentes de energías renovables, etc.); cooperar con las demás partes contratantes (intercambio de experiencias o datos, coordinación de las políticas nacionales mediante mecanismos de cooperación, como el permiso de emisión, la aplicación conjunta y el mecanismo de desarrollo limpio).

El PK vincula de forma legal a los países que lo han ratificado a partir del 16 de febrero de 2005, después de que se han cumplido dos condiciones: el respaldo de al menos 55 países y que estos representen al menos el 55 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono de los países desarrollados. Cabe señalar que la segunda condición se vio cumplida desde noviembre de 2004, cuando Rusia ratificó el protocolo.

Actualmente son 177 países que respaldan dicho protocolo, los cuales representan el 63.7 por ciento de las emisiones.^[13] El único país desarrollado que aún rechaza el compromiso de la Organización de las Naciones Unidas para la lucha contra el cambio climático es Estados Unidos, que es también el mayor contaminador a nivel mundial. Lamentablemente países como la India y China, que si bien han aceptado firmar el PK, se han reservado el derecho de aceptarlo en su totalidad alegando, igual que Estados Unidos, que las medidas para la reducción de GEI afectan sus economías.

Aún así y a pesar de esto, durante la última CMNUCC que se llevó a cabo en Bali en diciembre de 2007, los países acordaron poner en marcha negociaciones para llegar a un acuerdo internacional crucial y reforzado sobre el cambio climático. El acuerdo final “Mandato de Bali”, incluye los lineamientos para negociar una segunda fase más firme del PK para el año 2009, iniciar un proceso para financiar y poner en práctica tecnologías limpias para los países en vías de desarrollo, así como crear un fondo de ayuda para las víctimas del cambio climático y, por primera vez, se tomará en cuenta el problema de la deforestación como la causa que provoca el 20 por ciento de las emisiones globales.

1.1.7 México ante el Cambio Climático

México firmó la CMNUCC en 1992 y la ratificó en 1993 con fundamento en la aprobación del Senado de la República. En 1994 se integró a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), donde negoció la no-inclusión en el Anexo 1 de la CMNUCC con base en la posición de que “Ningún compromiso futuro debe representar una limitación para el desarrollo del país, y en particular para la reducción progresiva de la pobreza y la ampliación de la cobertura de los diversos servicios básicos”.^[14] Por tanto, se firmó el Protocolo de Kioto (PK) en 1997, el cual fue ratificado en 2000.

Bajo la coordinación general del Instituto Nacional de Ecología (INE), México fue de los primeros países “No Anexo 1” en presentar su Primera Comunicación Nacional en 1997, ésta se basó principalmente en el 1er. Inventario Nacional de Emisiones de GEI (INEGEI)

que se realizó con datos de 1990 y sirvió para situar a México como emisor en el contexto mundial.

México fue también el primer país “No Anexo 1” en presentar su Segunda Comunicación Nacional completa (2001), donde se incluyó una actualización del INEGEI a 1996, se describieron las políticas de mitigación y de energía, y se realizó un recuento de las actividades de investigación científica y tecnológica del país de 1997 a 2001, así como de la cooperación internacional en el mismo periodo.

Cabe mencionar que en 2006 México fue el primer país “No Anexo 1” en presentar tres comunicaciones nacionales y realizar tres Inventarios Nacionales de Emisiones de GEI (INEGEI), de acuerdo a los lineamientos y metodologías del IPCC. La más reciente actualización del INEGEI, que da cuenta de todos los GEI y las principales fuentes emisoras, apareció publicada con datos de 2002.

Desde que el Protocolo de Kioto (PK) entró en vigor el 16 de febrero de 2005, con base en el artículo 133 Constitucional, el PK y la CMNUCC forman parte de la legislación mexicana en la materia.

En abril de 2005 y por acuerdo del Ejecutivo federal se creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), como órgano federal responsable de formular políticas públicas y estrategias transversales de mitigación y adaptación. Dicha Comisión está integrada por los titulares de las secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales (quien la preside y tiene a su cargo el Secretariado Técnico); Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Comunicaciones y Transportes; Economía; Desarrollo Social; Energía; y Relaciones Exteriores. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público es miembro invitado permanente a las reuniones de la Comisión y en otros grupos de trabajo participan otras secretarías o dependencias federales.^[15]

La CICC coordina, en el ámbito de competencia de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, las acciones relativas a la formulación e instrumentación de políticas y estrategias nacionales para la prevención y mitigación de emisiones de GEI, la adaptación a los efectos adversos del cambio climático y, en general, para el desarrollo de programas y estrategias de acción climática relativos al cumplimiento de los compromisos suscritos por México en la CMNUCC y demás instrumentos derivados de ella, particularmente el PK. La CICC ha tenido a su cargo la formulación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, misma que actualmente está contenida en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.

1.1.8 Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Sustentabilidad ambiental

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.^[16]

Uno de los retos principales que enfrenta México es incluir al medio ambiente como elemento de la competitividad y el desarrollo económico y social. El cuidado del ambiente es un tema que ocupa a todos los países. Las consecuencias de los modelos de desarrollo pasados y actuales que no han tomado en cuenta al ambiente se manifiestan en problemas de orden mundial como el cambio climático.

México se ha sumado a los esfuerzos internacionales apoyando los instrumentos jurídicos negociados multilateralmente para enfrentar el cambio climático, entre los que destacan la CMNUCC y el PK. A pesar de ello, en nuestro país, el consumo de combustibles fósiles es el factor que genera en mayor medida los GEI, el cual se ve agravado debido a los siguientes factores: falta de un sistema de transporte eficiente en todo el país, prácticas agrícolas y pecuarias dañinas, atraso tecnológico en gran parte de la industria, etcétera.

La Estrategia Nacional de Cambio Climático derivada de las acciones que México emprende para combatir este problema, está contenida en el Plan Nacional de Desarrollo, en el apartado de Sustentabilidad Ambiental, donde se tienen los siguientes objetivos:

Objetivo 10

Reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

- Impulsar la eficiencia y tecnologías limpias.
- Promover el uso eficiente de la energía en el ámbito doméstico, industrial, agrícola y de transporte.
- Adoptar estándares internacionales de emisiones vehiculares.
- Recuperar energía a partir de residuos.

Objetivo 11

Impulsar las medidas de adaptación al cambio climático

- Inclusión de las necesidades de adaptación en la planeación.
- Desarrollo de escenarios climáticos regionales.
- Evaluación de los impactos del cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos.
- Difusión de información.

Sin embargo, la sustentabilidad del ambiente no es un asunto que el gobierno pueda asegurar y controlar por sí mismo, sino que es indispensable la participación de todos los sectores productivos y de la población, de manera informada y responsable, por lo que la generación de conocimiento ambiental científico y técnico es un asunto prioritario para la sustentabilidad en el diseño de políticas públicas y la toma de decisiones.^[16]

Muchas políticas públicas se han visto obstaculizadas porque los ciudadanos no están familiarizados con los problemas ambientales y no tienen claro cómo participar en su localidad para contribuir a la protección del medio ambiente. Esto implica la creación de una cultura ambiental a través de la educación, la capacitación y la creación de valores ambientales.

1.2 Justificación del proyecto

En este trabajo se toma el Objetivo 10 del Plan Nacional de Desarrollo, “Reducir las emisiones de GEI”, enfocándolo principalmente en la promoción del uso eficiente de energía en el ámbito doméstico, en particular para el calentamiento de agua para la ducha en el sector residencial.

Se considera que las emisiones generadas principalmente en las grandes ciudades mediante la utilización de tecnologías convencionales que trabajan con combustibles fósiles, las cuales en la mayor parte de los casos presentan un atraso considerable por lo que tienen baja eficiencia, contribuyen en forma muy clara en las emisiones de GEI del país.

Dado que el Objetivo 11 aborda el tema de la “difusión de información”, se cree necesario continuar en forma más amplia la campaña de información y concientización a nivel nacional en el uso y aprovechamiento de las energías renovables en el sector residencial, ya que es en éste donde se tiene la mayoría de los usuarios de energía, con lo cual se espera contribuir en la disminución de las emisiones de GEI y al ahorro energético en el país.

Por ello, para el presente trabajo se desarrollará una herramienta que permita informar y dar a conocer al ciudadano común, los beneficios económicos y ambientales que puede obtener en su hogar, derivados de la utilización en forma híbrida de calentadores solares de agua para el uso diario en la ducha.

1.3 Trabajos anteriores relacionados con la utilización de calentadores solares de agua en México

De acuerdo a la revisión bibliográfica se han encontrado diversos trabajos realizados para la utilización de los calentadores solares de agua para uso residencial en el país, particularmente en la Ciudad de México. A continuación se describen los trabajos más relevantes, los cuales han servido como punto de partida para la realización de este trabajo.

Quintanilla et al^[17], realizaron un estudio de los beneficios que se obtienen al sustituir el uso de combustibles fósiles como el gas licuado de petróleo (GLP) y el gas natural (GN), que se utilizan tradicionalmente en el calentamiento de agua para uso residencial, en la zona metropolitana de la ciudad de México.

Ramos et al^[18], describen en forma muy breve tanto los beneficios que un usuario puede obtener al instalar un calentador solar de agua para uso doméstico como el tipo de calentadores comerciales que existen en el mercado, los cuales pueden funcionar con gas o con energía solar, ayudando así a una adecuada selección. En su trabajo realizan a manera de ejemplo el cálculo del consumo de gas que se presenta para satisfacer el requerimiento de agua caliente en una casa habitación, comparándolo con el ahorro que se genera adicionando un calentador solar y determinando también, la superficie de colección para cubrir las necesidades de consumo de agua caliente. Los parámetros que utilizan para

efectuar dicho cálculo son los consumos típicos que requieren los diversos servicios sanitarios, el número de personas que habitan y el nivel de equipamiento, entre otros. También para este mismo ejemplo obtienen en una forma muy simple el tiempo de recuperación de la inversión del calentador solar.

Malfavón^[19] realizó un trabajo de tesis, cuyo objetivo principal es evaluar el potencial de ahorro de energía al sustituir calentadores solares de agua y estufas con mayor eficiencia, para uso residencial en México, apreciando las ventajas ambientales obtenidas con tales cambios. Por consiguiente, detalla las principales características del consumo de energía para uso residencial, resaltando la importancia en el calentamiento de agua y la cocción de alimentos, describiendo las diferentes tecnologías convencionales para tal fin. También describe la evolución de la normatividad aplicada en la fabricación de calentadores solares y estufas, así como estima los potenciales de ahorro económico y de energía basándose en las normas de fabricación de los equipos de gas (calentadores y estufas) y considerando la sustitución de sistemas con mayor eficiencia en combinación con calentadores solares. Finalmente, muestra el potencial de la disminución del impacto ambiental debido a estas sustituciones.

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) ha realizado de manera importante una gran cantidad de programas para el impulso y crecimiento del mercado nacional en el desarrollo de los calentadores solares de agua para uso residencial, entre otros. Algunos objetivos principales de dichos trabajos están enfocados a lograr un importante ahorro en el consumo de combustibles fósiles como el gas LP (GLP) y el gas natural (GN), consiguiendo así el uso eficiente de la energía y el aprovechamiento de las energías renovables, en este caso la energía solar.

Diversos estudios de la CONAE, en los últimos años, indican, que los principales problemas que existen en México para el uso masivo de los calentadores solares de agua son debidos, principalmente, al alto costo de la inversión inicial que representan. Esto se debe a que no existen esquemas adecuados de comercialización y financiamiento, aunados a la falta de normas y procedimientos para garantizar la calidad en su instalación y funcionamiento. Asimismo, han estrategias adecuadas en la difusión, promoción y divulgación de la tecnología solar.

Por consiguiente, la CONAE ha desarrollado algunas herramientas en el área de las energías renovables, cuya utilidad es comparar los tipos y usos de tecnologías en dichas energías para uso residencial, con el objeto de demostrar tanto la viabilidad técnica y económica como los ahorros de combustible.

La herramienta Programa de Evaluación Técnico-Financiera para Sistemas Solares para Calentamiento de Agua en el Sector Doméstico^[3], muestra por medio del programa Excel el cálculo de la rentabilidad de un calentador solar para uso residencial, el cual puede ser instalado en diversas partes de la República mexicana.

Vale la pena mencionar que ninguno de los trabajos antes mencionados presenta una visión completa sobre las estimaciones de los beneficios que se pueden obtener mediante la

adopción de una tecnología solar para calentamiento de agua en uso residencial. Dichos trabajos tampoco presentan los resultados en forma clara y sencilla que puedan ser fácilmente entendidos por el ciudadano común; por el jefe de familia que será, en última instancia, quien tome la decisión de adquirir o no un calentador solar de agua para su vivienda.

El trabajo más aceptable es el de la CONAE, sin embargo, la herramienta antes citada no es amigable con el usuario, pues muestra los datos de manera muy burda y informa sobre los beneficios ambientales, ya que sólo estima el ahorro energético. Asimismo la valuación del proyecto se hace sobre un periodo de 3 a 5 años, y no presenta datos sobre los beneficios obtenidos durante el tiempo de vida útil de los Calentadores Solares, el cual generalmente corresponde a un periodo de 10 años.

1.4 Objetivo del trabajo

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología de evaluación técnica y económica, que permita determinar cuantitativamente los beneficios económicos y ambientales que una familia que habite en la Ciudad de México o su zona metropolitana obtendría si decidiera acoplar un calentador solar de agua a uno convencional en su vivienda, para el calentamiento de agua exclusivamente para la ducha.

Para conseguir este objetivo, se plantean los siguientes objetivos particulares:

- Estimar el ahorro energético que se logra al utilizar un calentador solar de agua para uso en la ducha en una vivienda ubicada en la Ciudad de México o su zona metropolitana.
- Estimar la reducción en las emisiones de CO₂ al utilizar un calentador solar de agua para uso en la ducha en una vivienda de la Ciudad de México o en la zona metropolitana.
- Estimar los beneficios económicos que se obtienen al utilizar un calentador solar de agua para uso en la ducha en una vivienda en la Ciudad de México.

Asimismo, con el fin facilitar la aplicación de la metodología propuesta y posibilitar la variación paramétrica en los datos de entrada, se pretende desarrollar una herramienta interactiva que aplicando dicha metodología, presente de manera clara e ilustrativa los resultados obtenidos de las estimaciones técnica, ambiental y energética.

Es importante mencionar que la metodología estará basada en la construcción de un modelo que permita determinar cuantitativamente los beneficios de ahorro energéticos y reducciones en las emisiones de CO₂. Dicho modelo se realizará a partir de las normas oficiales mexicanas para calentadores de agua y de los parámetros establecidos por el IPCC.

1.5 Alcance y limitaciones

Es importante mencionar que esta tesis no pretende de ninguna forma convencer ni decidir sobre la compra de un Calentador Solar de Agua, sino que con un enfoque de evaluación de proyectos da a conocer los beneficios que se obtendrían, tanto en el ahorro energético como en los aspectos ambientales y económicos, si se tomara la decisión de adquirir uno.

Se considera que la herramienta desarrollada no estará dirigida a un grupo específico de usuarios, sin embargo, se entiende que sólo será accesible para personas que tengan acceso a Internet.

Por el momento se considera que la familia cuenta con un calentador de gas, el cual será acoplado al calentador solar. No se considera vivienda nueva ni actualización del calentador convencional.

En el caso de la evaluación económica, se debe considerar que la inversión inicial se efectúa de contado.

1.6 Estructura del trabajo de tesis

Para presentar los resultados del estudio efectuado, el presente trabajo se ha estructurado en seis capítulos, siendo éste el primero de ellos.

En el capítulo 2 se presentan datos sobre el consumo de energía para el sector residencial en México, ya que nuestro estudio se enfoca a calentadores de agua para uso residencial únicamente. Asimismo, se describen tanto las tecnologías convencionales existentes en el mercado mexicano como las tecnologías solares para calentamiento de agua en uso residencial. También se mencionan los programas más importantes desarrollados para la promoción y el uso de calentadores solares de agua en México, para uso residencial o comercial, los cuales son fundamentales para el desarrollo y la comercialización de dichos sistemas.

En el capítulo 3 se desarrolla la metodología para la construcción del modelo de análisis técnico que determinará cuantitativamente los beneficios energéticos y ambientales.

En el capítulo 4 se presenta el enfoque de evaluación de proyectos, se describen las técnicas utilizadas para el análisis en la evaluación económica y se describe la metodología a seguir para la evaluación económica que determinará cuantitativamente los beneficios económicos.

En el capítulo 5 se presenta la descripción técnica de la herramienta desarrollada y se muestran las vistas de usuario de la misma.

Por último, en el capítulo 6 se presentan y analizan los resultados obtenidos, en dos casos previamente seleccionados, aplicando la metodología propuesta a través del uso de la herramienta desarrollada.

2. CALENTAMIENTO DE AGUA EN EL SECTOR RESIDENCIAL

En este capítulo se describirá un panorama del sector energético mexicano, específicamente del “sector residencial”, en el cual se enfoca el presente trabajo de tesis. Se busca tener un punto de referencia sobre los datos más importantes de consumo para el calentamiento de agua en el sector residencial. También se describen las tecnologías más importantes existentes en el mercado para tal fin y las diversas alternativas que existen con el objeto de incentivar y promover el uso de calentadores solares de agua para uso residencial en México.

2.1 Sector Energético Mexicano

2.1.1 Fuentes de energía

Las fuentes de energía son aquellas que producen energía útil en forma directa o logrando su utilización por medio de alguna transformación posterior para su consumo adecuado. Asimismo, el consumo de energía se puede dividir de la siguiente forma:

Energía primaria

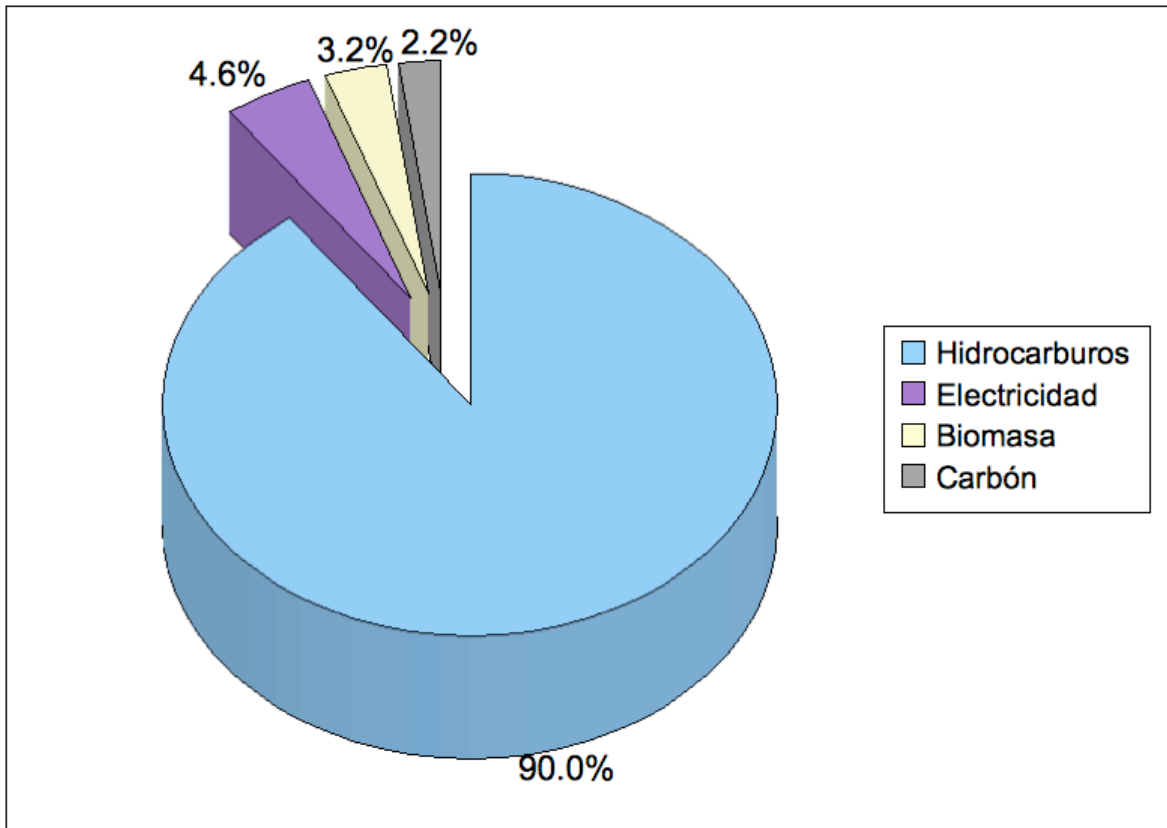
La energía primaria corresponde a las diferentes fuentes de energía tal y como se obtienen de la naturaleza, ya sea de forma directa o después de aplicar un proceso de extracción. Este tipo de energía se utiliza como insumo para obtener productos secundarios o se consume en forma directa, como es el caso de la leña, el bagazo de caña y una parte del gas natural no asociado. Las principales fuentes de energía primaria son: carbón mineral, petróleo crudo, condensados, gas natural, bagazo de caña y leña; así como la energía nuclear, hidroeléctrica, geotérmica y eólica.

Energía secundaria

En esta clasificación se agrupan los derivados de las fuentes primarias, los cuales se obtienen en los centros de transformación y que contienen características específicas para su consumo final. Dichos derivados son el coque de carbón, el coque de petróleo, el gas licuado de petróleo, las gasolinas y naftas, los querosenos, el diesel, el combustóleo, los productos no energéticos, el gas seco y la electricidad.

2.1.2 Producción de energía primaria en México

De acuerdo a las cifras obtenidas en el Balance Nacional de Energía^[1], durante 2006 la producción total nacional de energía primaria fue de 10,619 PJ, misma que se distribuyó de la siguiente forma: hidrocarburos 90%, electricidad 4.6%, biomasa 3.2% y carbón 2.2% (figura 2.1). Asimismo, en la tabla 2.1 se observa que los hidrocarburos formados por petróleo crudo, condensados y gas natural, están a la cabeza como la principal fuente en la producción de energía primaria en el mismo año. El segundo lugar corresponde a la electricidad primaria formada por la nucleoelectrica, hidroeléctrica, geotérmica y eólica. En tercer lugar se encuentra la biomasa: bagazo de caña y leña. Y el último lugar correspondió al carbón.



Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.

Figura 2.1 Producción de energía primaria, año 2006 (10,619.005 PJ).

Tabla 2.1 Producción de energía primaria, año 2006, en PJ.

Fuente de energía	Año 2006	Porcentaje
Hidrocarburos formados por:	9,553.762	90.0
• Petróleo crudo	7,304.395	68.8
• Condensados	141.127	1.3
• Gas natural	2,108.240	19.9
Electricidad primaria formada por:	490.379	4.6
• Nucleoeléctrica	119.419	1.1
• Hidroeléctrica	303.550	2.9
• Geotérmica	66.960	0.6
• Eólica	0.451	ns
Biomasa	344.159	3.2
• Bagazo de caña	96.956	0.9
• Leña	247.202	2.3
Carbón	230.704	2.2
Cantidad total	10,619.005	100.0

Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.

ns: no significativo.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras.

2.1.3 Consumo final total de energía

El consumo total de energía incluye la energía y la materia prima que se destinan a los distintos sectores de la economía para su consumo, dividiéndose como consumo final energético y consumo final no energético (figura 2.2).

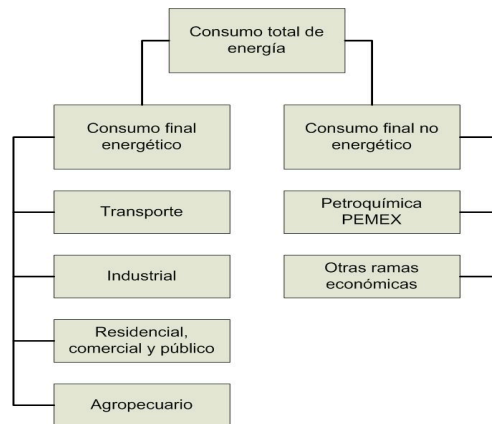
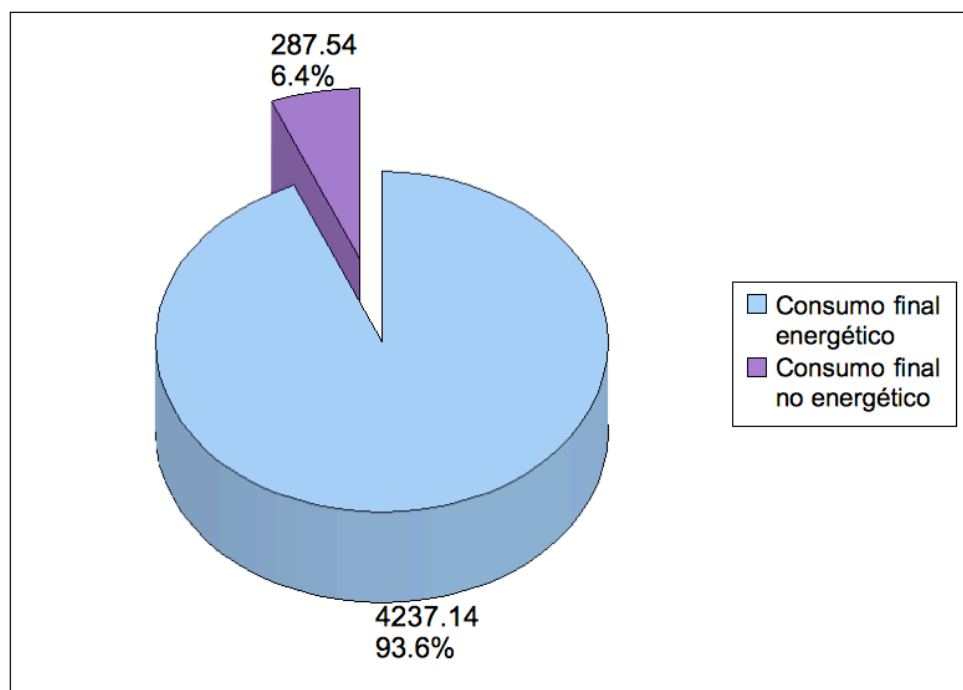


Figura 2.2 Consumo final total de energía.

Se denomina consumo final energético a los combustibles primarios y secundarios utilizados para satisfacer las necesidades de energía de los sectores residencial, comercial y público, así como a los de transporte, agropecuario e industrial.

En México, el consumo final total de energía en el año 2006 fue de 4,524.7 PJ, de los cuales el 93.6% correspondió al consumo final energético y el 6.4% al consumo final no energético (figura 2.3).



Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras.

Figura 2.3 Distribución del consumo final total de energía, año 2006, en PJ.

En la tabla 2.2 se observa el consumo final total de energía para el año 2006, el cual fue de 4,237.144 PJ. También se presentan los consumos para los sectores residencial, comercial y público, de transporte, agropecuario e industrial.

Tabla 2.2 Consumo final total de energía, año 2006, en PJ.

Sector	Año 2006	Porcentaje [%]
Consumo energético total	4,237.144	93.6
Transporte	1,991.391	44.0
Industrial	1,273.327	28.1
Residencial, comercial y público	844.186	18.7
Agropecuario	128.240	2.8
Consumo no energético total	287.543	6.4
Petroquímica PEMEX	198.542	4.4
Otras ramas económicas	89.001	2.0
Consumo final total	4,524.7	100.0

Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras.

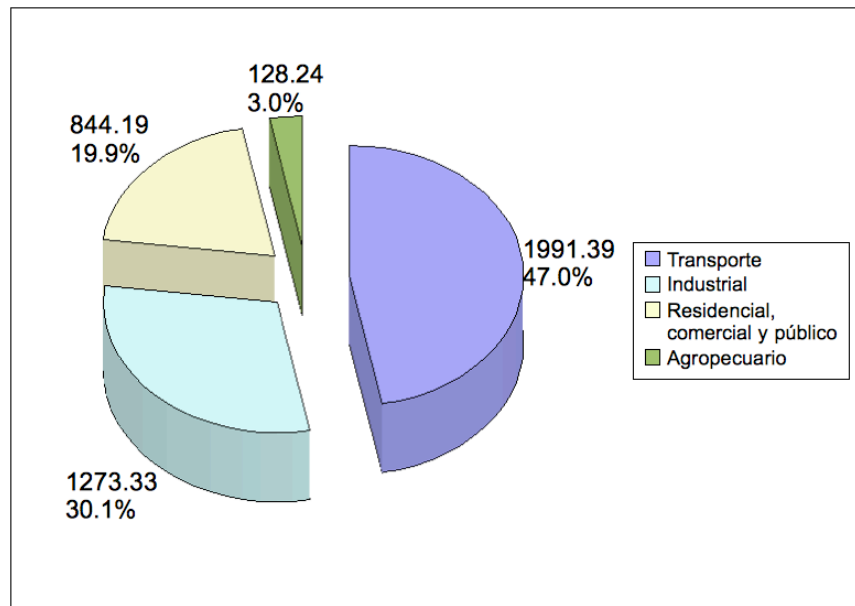
2.1.4 Consumo final energético por sectores

Tomando como base la figura 2.2 para la descripción de los sectores para el consumo de energía, en la figura 2.4 se observa que del consumo energético total en 2006, el sector transporte registró la mayor participación con un 47.0%, mientras que el sector industrial representó el 30.1%. Por su parte, los sectores residencial, comercial y público quedaron en tercer lugar con un porcentaje del 19.9% y el sector agropecuario sólo alcanzó el 3.0%.

Consumo final energético por subsectores

Durante 2006, el consumo de energéticos del subsector residencial representó 83.5% del requerimiento total de los sectores residencial, comercial y público con una cantidad de 705.165 PJ (figura 2.5).

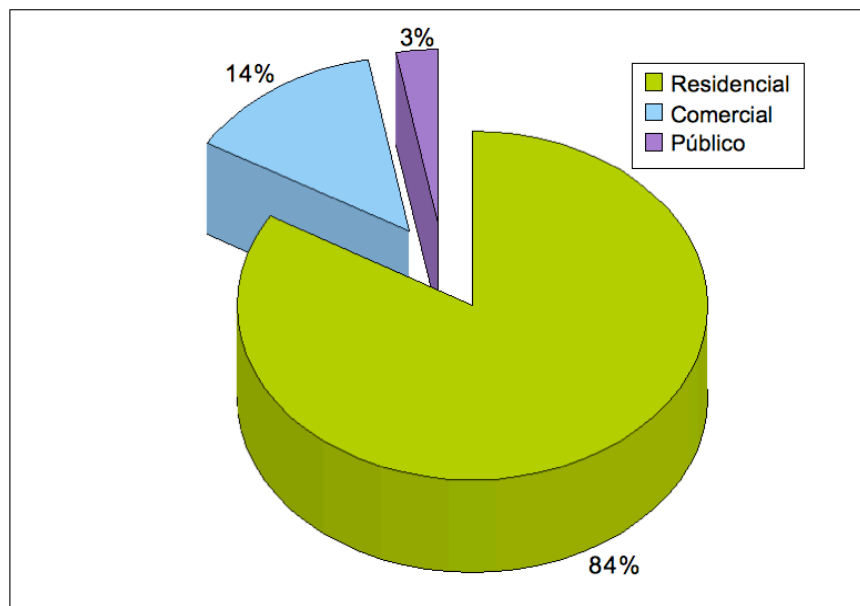
Para este subsector, los energéticos de mayor consumo fueron el GLP con una participación de 37.8% del total del subsector y la leña con 35.1%, seguidos por la electricidad que aportó 22.7%, el gas seco 4.2% y los querosenos 0.3%. En el caso del sector comercial, el consumo final energético fue de 115.276 PJ, representando el 13.7% del total del sector. En este caso, los principales energéticos utilizados fueron el gas licuado con un 48.2%, la electricidad con 41.3%, el gas seco con 7.1% y el diesel con 3.4% (figura 2.6).



Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras.

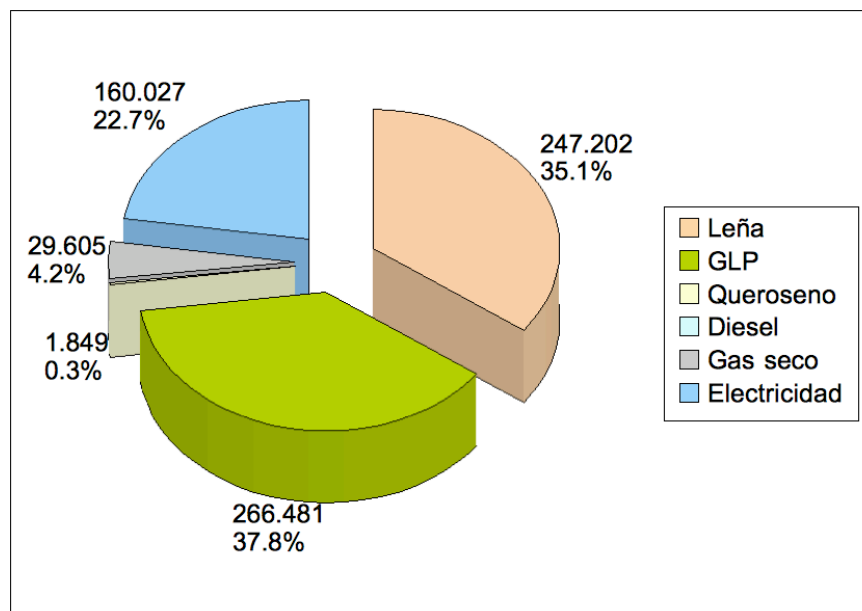
Figura 2.4 Consumo final energético por sector, año 2006, (4,237.144 PJ).



Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras.

Figura 2.5 Consumo de energía de los sectores residencial, comercial y público, año 2006, en PJ.



Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras.

Figura 2.6 Consumo de energía por tipo de combustible: sector residencial, año 2006, en PJ.

En la tabla 2.3 se observa que el subsector residencial aporta el mayor consumo de energía, la cual se utiliza principalmente en aplicaciones típicas como: la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, la calefacción, la iluminación y el planchado.

Tabla 2.3 Consumo de energía por tipo de combustible:
sector residencial, comercial y público, año 2006 en PJ.

Sector	Leña	GLP	Queroseno	Diesel	Gas seco	Electricidad	Total 2006	[%]
Residencial	247.202	266.481	1.849	0	29.605	160.027	705.165	83.5
Comercial	0	55.613	0	3.956	8.151	47.556	115.276	13.7
Público	0	0	0	0	0	23.746	23.746	2.8
Total	247.202	322.094	1.849	3.956	37.756	231.329	844.186	100

Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.

El gas seco incluye gas natural no asociado.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras.

Aquí es importante recordar que la presente tesis se enfoca únicamente a los beneficios que se obtendrán mediante el aprovechamiento de energía solar para el calentamiento de agua en el subsector residencial, complementando el requerimiento de agua caliente adicional por medio de un calentador convencional, el cual puede utilizar GLP o GN.

2.2 Tecnologías para calentamiento de agua en el sector residencial

2.2.1 Calentadores de agua convencionales

Un calentador de agua es un dispositivo por medio del cual se suministra agua caliente a servicios sanitarios que requieren temperaturas de hasta 70 °C. En uso residencial, los servicios más comunes para los cuales se requiere agua caliente son: ducha de personas, lavado de manos, lavado de trastes de cocina, lavado de ropa, etc. Para lograr tal fin, los calentadores de agua comúnmente utilizan combustibles fósiles, principalmente el gas licuado de petróleo (GLP) o gas natural (GN). También existen calentadores eléctricos pero en una proporción muy reducida, es por ello que en este trabajo quedan fuera del alcance de estudio.

Comúnmente para lograr el calentamiento de agua en uso residencial se emplean diferentes sistemas, los cuales pueden funcionar con GLP o GN indistintamente.

Calentador de depósito

Los calentadores de agua de depósito poseen un tanque donde se acumula el agua que se va a calentar (figura 2.7). El suministro de energía se logra por la parte inferior del tanque, en el cual está situado el quemador. Si el calentador es automático el quemador se acciona por

medio de un piloto gobernado por un termostato, que al ser manipulado en forma manual se puede fijar la temperatura de operación, misma que depende de la estación del año y del número de personas que habitan la vivienda. Los gases de combustión que se generan suben por medio de un tubo hueco que está situado a lo largo del calentador para de esta forma, transferir el calor a las paredes y por consiguiente al agua almacenada dentro del recipiente. Este mismo tubo funciona como chimenea para lograr la salida de los gases de combustión. En la parte superior del calentador, se encuentran las conexiones de alimentación para el suministro de agua fría y de agua caliente. El agua fría llega hasta la parte inferior por medio de un tubo de alimentación, el cual es lo suficientemente largo para permitir que el agua llegue hasta el fondo del tanque. Por medio del efecto de termosifón sale agua caliente por la parte superior, misma que se envía a los diferentes servicios. Para este tipo de calentador es común encontrar que la capacidad del tanque de almacenamiento para uso residencial puede variar de los 48 a 200 litros, lo que depende casi siempre del número de personas que habitan la vivienda.

Una de las principales ventajas que presentan los calentadores de depósito es que suministran agua caliente a una temperatura prácticamente constante durante su operación. También desde el punto de vista económico tienen el menor costo de adquisición en el mercado de los calentadores de agua.

Las desventajas del calentador de depósito son las siguientes:

- Para calentar el volumen de agua desde la temperatura de alimentación hasta la de operación, se requiere un tiempo de recuperación, el cual aumenta con el incremento del volumen de agua.
- Hay pérdidas de calor desde el depósito hacia el medio ambiente, por lo que el piloto siempre deberá estar encendido para accionar el quemador y compensar tales pérdidas. Por lo consiguiente, aunque el calentador no se encuentre en uso tendrá un funcionamiento continuo produciendo así un mayor consumo de combustible y una mayor generación de CO₂ al ambiente.

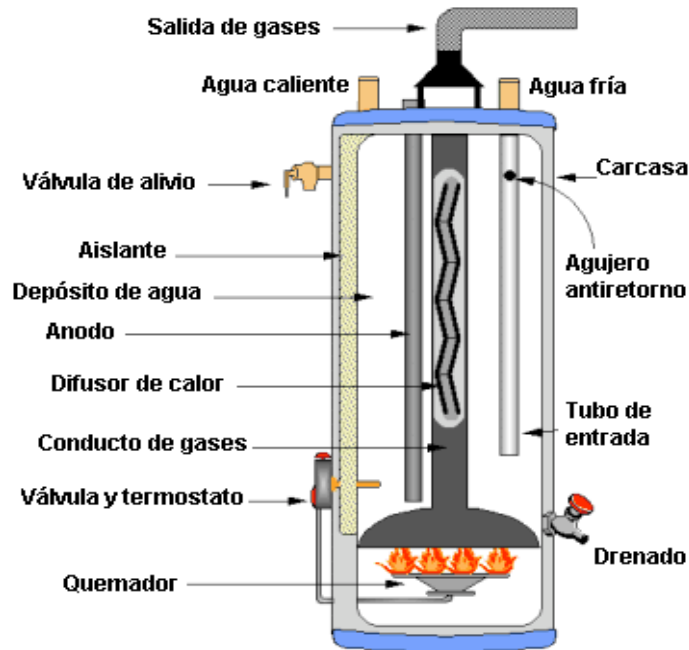


Figura 2.7 Esquema del calentador de agua de depósito.

En México, este tipo de calentadores de agua es el más común ya que representa el 71%^[2] del total de los calentadores que utilizan gas.

Calentador instantáneo

Como su nombre lo indica, este calentador de gas calienta el agua al momento que ésta circula a través de un intercambiador de calor, por lo que no se requiere un depósito de agua (figura 2.8). Al abrir cualquier llave de agua caliente, se efectúa una circulación de agua que provoca una caída de presión y que se registra por medio de un sensor activando el funcionamiento del quemador, suministrando así calor al agua de circulación. Algunos modelos están equipados con un control electrónico para la temperatura de salida, donde dicho control realiza un registro entre el flujo de agua y la temperatura de entrada, por lo que regula la cantidad de calor que se suministra al agua al calentarse.

Ventajas que obtienen con este tipo de calentador de agua:

- Ahorro de espacio, debido a que no tiene un tanque de almacenamiento.
- Ahorro de energía y menor generación de emisiones de CO₂ al ambiente, ya que no requiere de un tiempo de recuperación del volumen de agua, así como recuperar pérdidas de calor en el tanque.

Las desventajas que presentan este tipo de calentadores son:

- Están diseñados con una diferencia limitada de temperatura del agua de entrada y de salida, por lo que en climas fríos disminuye la temperatura de salida del agua caliente.
- Su alto costo de adquisición, ya que pueden costar hasta tres veces en comparación con un calentador de depósito.
- Otra limitante es que no es recomendable instalarlo en exteriores, debido a que el viento puede apagar la flama del quemador en funcionamiento.

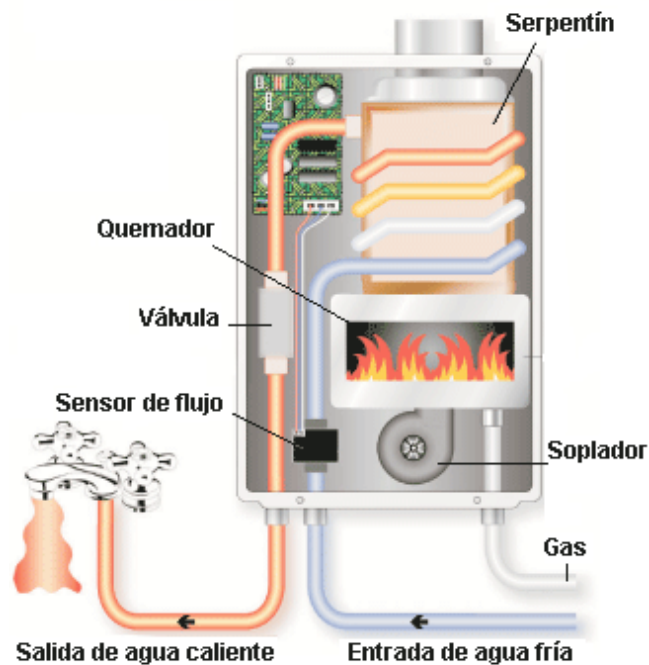


Figura 2.8 Calentador instantáneo.

Actualmente, en México está creciendo el número de calentadores instantáneos que son instalados en casas-habitación.

2.2.2 Calentadores solares de agua

El uso de la energía solar térmica depende principalmente de la temperatura de operación del sistema, es por ello que para lograr un adecuado aprovechamiento de ésta se debe identificar primero el rango de temperatura deseado.

Se tiene una clasificación general en función de la temperatura que puede entregar un sistema de captación solar en particular.^[3]

- Baja temperatura.
- Media Temperatura.
- Alta temperatura.

A los calentadores solares de agua se les denomina “colectores solares” y se clasifican en la categoría de baja temperatura, debido a que funcionan con temperaturas menores a 100 °C. Sus principales aplicaciones son:

- a) en el sector residencial, para el calentamiento de agua para la ducha, el lavado de ropa, lavado de trastes y la cocina, y
- b) en el sector comercial, para el calentamiento de agua en lavanderías, restaurantes, hoteles, centros recreativos, baños públicos, etcétera.

Para el suministro de agua caliente se pueden utilizar los siguientes colectores solares.

Colector solar plano

El colector solar plano es el dispositivo más común y, por tanto, el más desarrollado en el mercado debido a su bajo costo de inversión en comparación con el de tubos evacuados (figura 2.9).

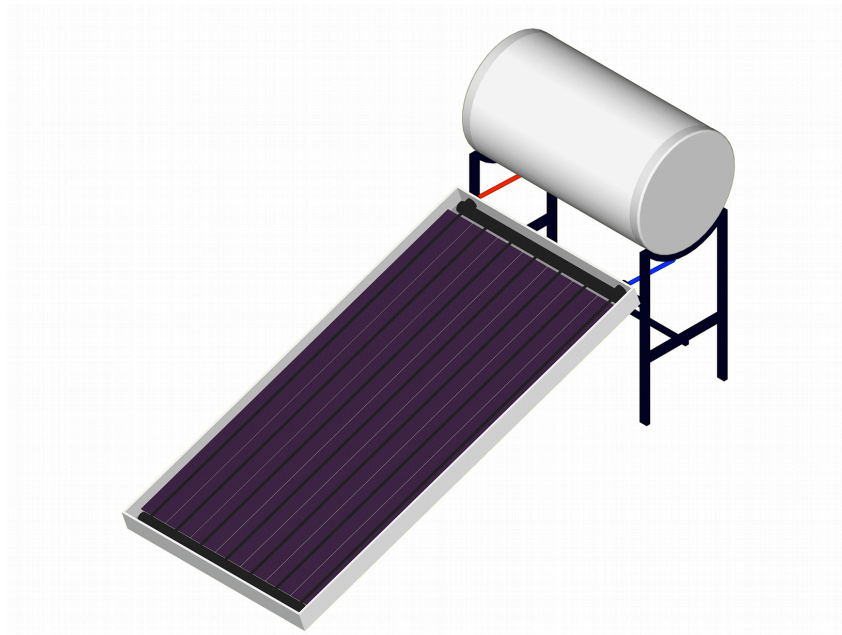


Figura. 2.9 calentador solar de agua con colector plano.

El colector solar plano se compone principalmente de las siguientes partes:

1. Caja de colección: marco de la cubierta, cubierta, placa absorbidora, tubos de flujo, cabezal y aislante (figura 2.10).
2. Tanque de almacenamiento térmico: recipiente a presión, forro de aislante y cubierta del recipiente.

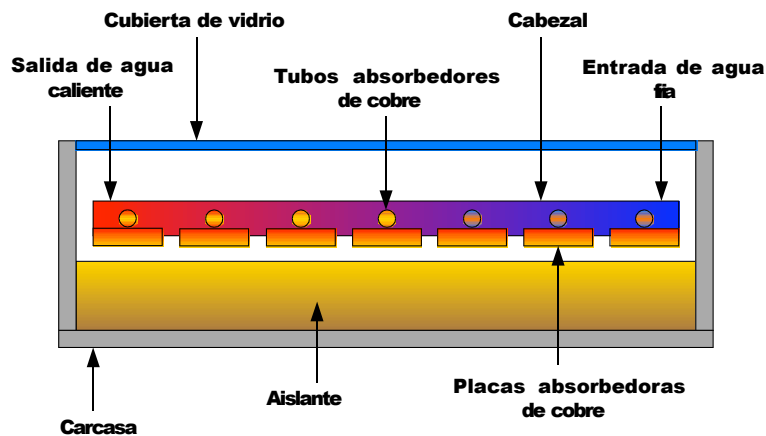


Figura. 2.10 Partes internas de un colector solar plano.

El funcionamiento del colector solar plano es el siguiente (figura 2.11):

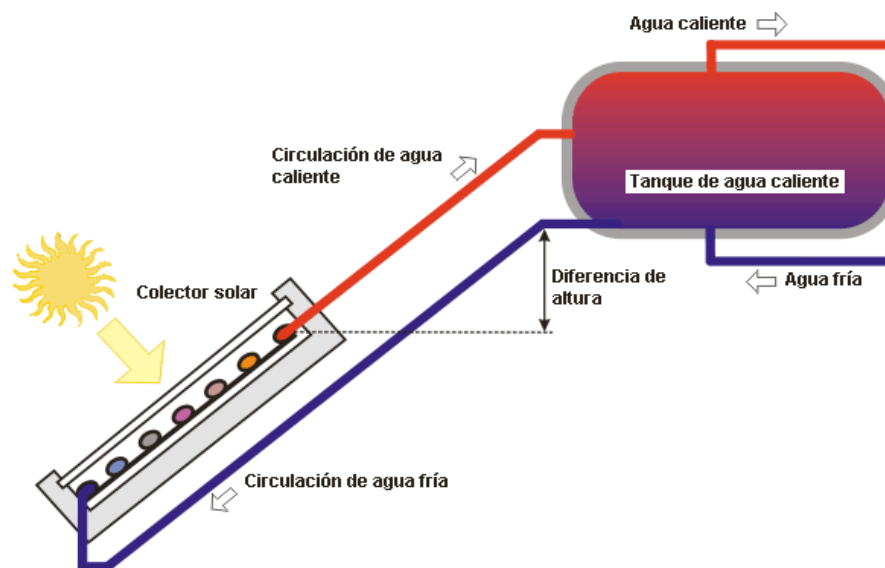


Figura 2.11 Funcionamiento del calentador solar plano.

La radiación solar ingresa por medio de la cubierta de la caja colectora donde se encuentra confinado el absorbedor, el cual está compuesto por una serie de tubos con placas soldadas a éstos y recubiertos de una superficie que presenta una alta absorción de radiación solar. Las placas de cobre absorben parte de la radiación que entra al colector y éstas a su vez la transmiten a los tubos por donde circula el agua que va a calentarse. El material con que se fabrican los absorbedores es el cobre debido a su gran conductividad térmica y a su bajo costo. El agua fría (de menor temperatura) sale del tanque de almacenamiento y fluye hacia la parte inferior del absorbedor, a medida que circula por los tubos va absorbiendo una cierta cantidad de la energía suministrada por el sol, consiguiendo así un incremento en la temperatura y una disminución en la densidad, por lo que sube nuevamente dando lugar al efecto termosifón. El agua caliente que sale del absorbedor (por la parte superior) ingresa al tanque de almacenamiento el cual presenta un adecuado forro de aislante térmico que permite conservar la temperatura del agua por largos periodos de tiempo. Normalmente estos depósitos tienen capacidad de 150 litros hasta 300 litros, dependiendo del consumo de agua caliente que se vaya a tener. Para que el agua alcance una temperatura adecuada para uso continuo en el suministro de agua caliente, se requiere que el colector absorba durante el día una buena cantidad de energía solar, por lo que deberá funcionar con la mayor eficiencia térmica posible. Los calentadores solares disponibles actualmente, presentan en promedio una eficiencia térmica de 50%, que depende principalmente del factor de pérdidas que se tenga durante su funcionamiento.

Colector solar de tubos evacuados

El calentador solar de agua de tubos evacuados está compuesto por las siguientes partes:

1. Colector absorbedor de tubos de vacío.
2. Termotanque aislado para almacenar agua caliente.
3. Estructura de soporte del sistema completo.

Con el uso de los colectores solares de tubos evacuados se pueden alcanzar temperaturas mayores a 100°C para el calentamiento de agua^[4] (figura 2.12).



Figura 2.12 Colector solar de tubos evacuados.

Las características principales de los colectores de tubos evacuados son las siguientes:

- Tienen mayor capacidad para obtener temperaturas superiores en comparación con los colectores planos, ya que el absorbedor de este colector se compone de un conjunto de tubos de vidrio, los cuales son colocados concéntricamente con el tubo absorbedor, que es donde se calienta el agua.
- En el espacio anular formado entre el tubo absorbedor y la envolvente exterior de vidrio se produce un vacío, el cual reduce en forma considerable las pérdidas de calor al ambiente, incrementando por tanto la eficiencia térmica del colector

El funcionamiento de este sistema es el siguiente: al llenarse el interior del tubo absorbedor con agua, ésta se somete a calentamiento solar, llegando a un punto en que el agua que presenta la mayor temperatura posee una densidad menor en comparación con la de menor temperatura (la cual se sitúa en la parte inferior del tubo evacuado) y por tanto se presenta el efecto termosifónico, provocando así la circulación hacia el interior del tanque.

2.3 Potencial del calentamiento de agua con energía solar en México.

Desde hace varias décadas, en diversas partes del mundo se han utilizado tecnologías solares para el calentamiento de agua para el consumo residencial, por lo que dichos equipos son muy conocidos y confiables. Por ejemplo, a fines de 2004 se registró una superficie de captación instalada a nivel mundial de $164 \text{ Mm}^{2[5]}$, donde China presenta el

38% de la capacidad instalada, siendo así el país número uno del mundo en la utilización de energía solar para calentamiento de agua, seguido por Estados Unidos con 17% y Japón en tercer lugar con 4.7%. Por lo que respecta a la Unión Europea, en su conjunto representa el 10.4% del mercado internacional donde Alemania, Grecia y Austria son los principales países que utilizan estas tecnologías.

Si se acumulara la producción anual de todo el campo de captadores solares instalados en 2004, la cual fue de poco más de 68,000 GWh (244,800TJ), se vería que tal cantidad es equiparable a 10.8 billones de litros de petróleo, con lo cual se obtiene una disminución de 29.6 millones de toneladas de emisiones de CO₂.^[6]

Por su parte, México es un país que tiene un gran potencial para la captación de energía solar. Se ha estimado que con un promedio de radiación solar de 5 kWh/m² por día que ingrese en un captador solar que presente un área de 1 m², con una eficiencia térmica del 50%, es posible recibir diariamente el equivalente de la energía contenida en un metro cúbico de GN, o la de 1.3 litros de GLP.^[7] Asimismo, si para el consumo anual de agua caliente en nuestro país se utilizaran colectores solares, el área que se tendría instalada sería cercana a 70 Mm², lo cual se podría traducir en un ahorro aproximado de 5 millones de toneladas de GLP y 640,200 m³ de GN, con una importante disminución de 4 millones de toneladas en emisiones de CO₂ al ambiente.^[8] Por todo ello, debemos valorar la conveniencia de fomentar el uso de los colectores solares, tomando en cuenta que cada vez resultan una inversión más rentable debido a los constantes aumentos en los precios de los combustibles fósiles.

En el caso del GLP y el GN han aumentado 52% y 74%, respectivamente, en el periodo contemplado de 2002 a 2006^[9] (figura 2.13).

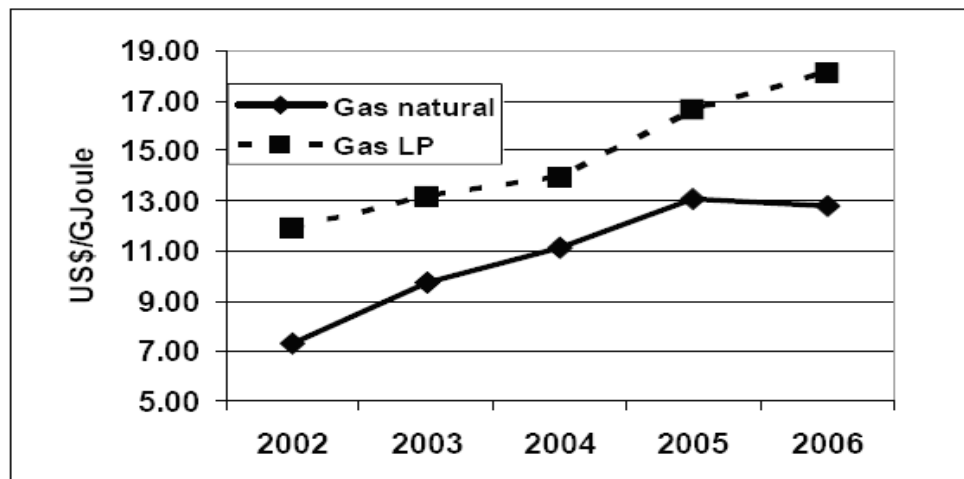


Figura 2.13 Evolución del precio de gas LP y gas natural para el sector doméstico en México (2002 a 2006).

Por otro lado, se ha realizado una estimación con base en los consumos actuales de energéticos y en el número de instalaciones existentes para los diferentes tipos de consumidores de los sectores residencial, comercial y público, así como de transporte, agropecuario e industrial. También se han estimado las tasas de reposición de los equipos, el crecimiento de la economía y del parque de casas habitación, con todo esto se ha determinado que en México, existe un potencial de mercado de más de 2 Mm²/año, donde el sector residencial representa el 74.54% del total (tabla 2.4).

Tabla 2.4. Potencial estimado en México de instalación de sistemas de calentamiento solar de agua (m² al año).

Sector	Existente	Nueva construcción	Subtotal
Residencial	920,000	684,000	1,604,000
Hoteles	89,100	89,100	178,200
Hospitales	5,500	5,500	11,000
Industria embotelladora	90,200	90,200	180,400
Agronegocios	89,100	89,100	178,200
Total	1,193,900	957,900	2,151,800

Fuente: Estimaciones de ENTE, S.C.

2.4 Barreras en el uso de la energía solar para calentamiento de agua en México

Lamentablemente en México no ha sido posible lograr el aprovechamiento del gran potencial de la energía solar, a pesar de importantes iniciativas que se han llevado a cabo en los últimos años, así como de la actual rentabilidad en la aplicación de los calentadores solares. Se cree que las barreras que contrarrestan el uso de los calentadores solares en México y repercuten directamente en el usuario son:

- El alto costo inicial de los equipos.
- Escaso financiamiento para la adquisición de equipos, con tasas preferenciales.
- Desconocimiento de los usuarios, lo que conlleva a la desconfianza en los calentadores solares de agua.
- Existencia limitada de técnicos capacitados para instalar y reparar los calentadores solares.

En varios países del mundo se han contrarrestado dichas barreras al implementar acciones gubernamentales de diversos tipos. Algunos de estos casos han sucedido en Israel, Barbados, Alemania y China, por lo que se han realizado las siguientes iniciativas:

- En Alemania se han otorgado subsidios para la adquisición de calentadores solares de agua.
- En España, Israel y China se han modificado las normas de construcción, las cuales requieren el uso de calentadores solares de agua.

- En Túnez, Barbados y China se han creado mecanismos financieros que permitan pagos a largo plazo y con tasas preferentes, lo cual hace rentables las inversiones iniciales de los calentadores solares.

Al aplicar algunas de las políticas anteriormente descritas se obtienen, por consiguiente, los siguientes beneficios: el logro de la economía a escala y su respectiva competencia, permitiendo reducir los costos de inversión y mejorar en la calidad de los equipos haciéndolos más atractivos para los usuarios, aumentando su demanda y diversificando la aplicación de estas tecnologías.

2.5 Iniciativas para el uso de la energía solar para el calentamiento de agua en México

Actualmente existen una serie de iniciativas y de normas, cuyo objetivo es el aprovechamiento de la energía solar en forma regular, impulsando así el mercado de los calentadores solares de agua, siendo las más importantes las siguientes:

- Deducción de impuestos a equipos que aprovechan energías renovables.

Desde 2004 se permite a las empresas o personas con actividad empresarial, la deducción acelerada de las inversiones que se hacen al adquirir equipos para el aprovechamiento la energía solar. Pero debido al gran desconocimiento por parte de los usuarios, no aprovechan esta ventaja al máximo.

- Norma ambiental del Gobierno del Distrito Federal (GDF).

El GDF puso en vigor la norma ambiental NADF-008-AMBT-2005, cuyo objetivo es establecer los criterios para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua, los requerimientos mínimos de calidad, las especificaciones técnicas de instalación, el funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar; aplica tanto a establecimientos que inicien operaciones al día siguiente de la publicación de la presente norma como a los que realicen la remodelación total de sus instalaciones en el Distrito Federal y que requieran agua caliente para realizar sus actividades.^[10]

- Energía solar -rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua- métodos de prueba y etiquetado.

La norma NMX-ES-001-NORMEX-2005, es una de las más importantes para el desarrollo de los calentadores solares de agua, entró en vigor en octubre de 2005.

Esta norma fue elaborada por el Subcomité de Calentadores Solares, dependiente del Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar, NESO-13 y fue coordinado por la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación S.C., con la

colaboración de las siguientes instituciones y de una serie de empresas: Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), Comisión Nacional del Ahorro de Energía (CONAE), Consejo de Ciencia y Tecnología de Guanajuato (CONCYTEG) y el H. Ayuntamiento de Cuautitlán.

Dicha norma se elaboró con el fin de disminuir el consumo de combustibles fósiles y su consecuente emisión de contaminantes, utilizando la energía solar como fuente alterna de energía primaria, en el calentamiento de agua para uso sanitario.

Tiene como objetivo establecer los métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico y las características de funcionalidad de los colectores solares que utilizan agua como fluido de trabajo; comercializados en México y cuyo campo de aplicación son los colectores solares que proporcionen únicamente agua caliente en fase líquida ^[11].

- Laboratorio de pruebas para la certificación de los calentadores solares en México.

Para poder aplicar la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005, la Universidad de Guanajuato, con apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en el Estado de Guanajuato, acreditó un laboratorio para hacer las pruebas que exige dicha norma. Este laboratorio es operado por la propia universidad bajo un contrato con NORMEX y es allí donde se realizan las pruebas de certificación para calentadores solares que se venden en el mercado mexicano, considerando aspectos como la inspección.

- Alternativas financieras para la promoción del uso de calentadores solares de agua (CSA) en el sector doméstico mexicano.

En el marco de la cooperación técnica bilateral entre los gobiernos de México y Alemania, la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH ha implementando el programa “Gestión Ambiental y Uso Sustentable de Recursos Naturales”, siendo uno de sus objetivos principales la promoción del uso de las energías renovables. En este sentido, bajo la supervisión de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) y de la GTZ, y con el apoyo de la Secretaría de Energía (SENER), se realizó un estudio que consiste en identificar y analizar diversas alternativas financieras para la promoción del uso de Calentadores Solares de Agua (CSAs) en el sector doméstico mexicano. El marco de referencia para dicho estudio fue: analizar dos mercados distintos, las casas nuevas y las casas habitadas; no se consideraron recursos adicionales por parte de alguna institución ni subsidios gubernamentales; y por último, se evaluó la factibilidad de aprovechar mecanismos financieros disponibles actualmente, tanto de instituciones que apoyan programas similares como los disponibles en el mercado a través de las tiendas departamentales.^[12]

Programa para la promoción de calentadores solares de agua en México (PROCALSOL).

En 2006, la empresa Cal-o-Rex fabricante de calentadores de agua con gas, anunció el desarrollo de calentadores híbridos, los cuales funcionan con energía solar y son apoyados con calentadores de gas. Dada la importancia de esta iniciativa y las mencionadas con antelación para la aplicación de la energía solar en el calentamiento de agua y otros fluidos, la CONAE busca servir como mediadora, asegurando que impere en todo momento la calidad en los productos, sistemas y procesos; así como ampliar mediante fondos locales o internacionales, la disponibilidad de recursos para financiar iniciativas de este tipo.

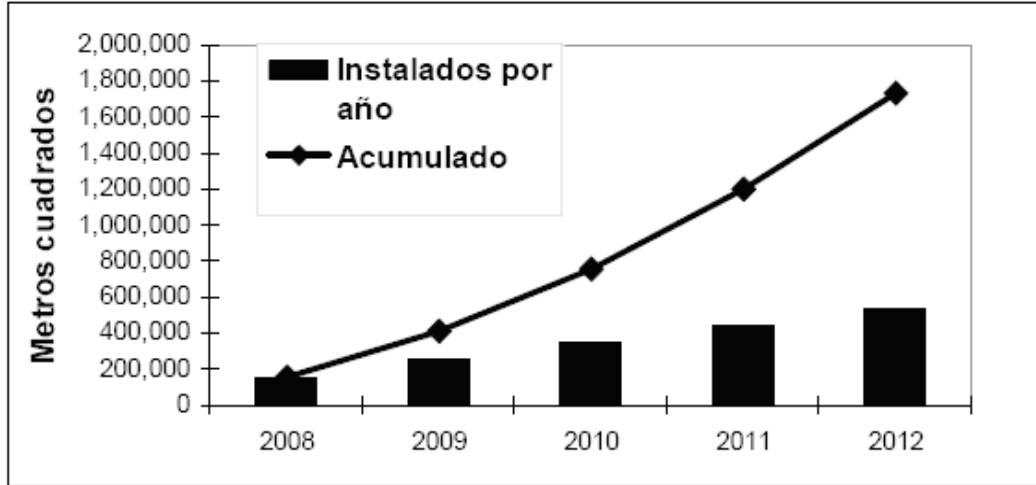
En respuesta a las solicitudes recibidas de diversos sectores relacionados con la oferta y la demanda de los sistemas para calentamiento de agua con energía solar, la CONAE tomó la iniciativa de integrar el Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (PROCALSOL).^[13]

Los objetivos de dicho programa son los siguientes:

- Impulsar en los sectores residencial, comercial, industrial y de agronegocios de México, el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua, fortaleciendo los mecanismos actualmente en operación y el diseño e implementación de esquemas nuevos e innovadores que lleven a cabo dicho objetivo.
- Garantizar que el crecimiento del mercado del calentamiento solar se lleve a cabo con un nivel de calidad adecuado en los productos y servicios asociados.
- Favorecer el desarrollo de la industria nacional, la cual está integrada por fabricantes, diseñadores de sistemas, distribuidores e instaladores de equipos.
- Promover la adopción de tecnología desarrollada por los centros nacionales de investigación.

Este programa busca apoyar las diversas aplicaciones del calentamiento solar de agua en los sectores residencial, comercial, industrial y de agronegocios en el país, poniendo énfasis en las que ofrezcan mayor rentabilidad social.

Así, la meta global de dicho programa es tener instalados, para el año 2012, 1.8 Mm² de calentadores solares de agua en México (figura 2.14).



Fuente: PROCALSOL

Figura 2.14 Evolución esperada en metros cuadrados de calentadores solares instalados en México (2008 a 2012).

De acuerdo al Balance de Energía de 2006, por medio de más de 839,700 m² de colectores solares planos instalados en el país se generaron 3.9 PJ de energía útil para el calentamiento de agua de albercas y usos sanitarios en hoteles, clubes deportivos, casas-habitación, hospitales e industrias (tabla 2.5).

Tabla 2.5 Aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en México, 2006.

Característica	Calentador solar plano	Módulos fotovoltaicos
Capacidad instalada	839,686 [m ²]	17,633 [kW]
Eficiencia térmica promedio	70 [%]	-
Radiación solar promedio	18,841 [kJ/m ² día]	-
Disponibilidad de calor solar primario	5.775 [PJ]	-
Horas promedio de insolación	-	6 [h/día]
Disponibilidad de energía solar primaria	-	0.9702 [PJ]
Aplicaciones	Calentamiento de agua para uso sanitario y albercas	Electrificación rural, comunicaciones, señalamiento y bombeo de agua

Fuente: Asociación Nacional de Energía Solar.

Para 2016 se tiene una estimación total de 6.5 Mm² lo que representará un ahorro equivalente a 4,732 miles de barriles de GLP, que significarán un ahorro equivalente a 21.4 PJ.^[14] (tabla 2.6).

Tabla 2.6. Metros cuadrados instalados de colectores solares y estimación de ahorro de GLP, proyección 2007-2016.

Año	Superficie de colectores solares [miles de m ²]			Generación de energía útil por equipos en operación	Generación de energía útil (equivalente en GLP)
	Desarrollo normal del mercado	Programa Procalsol*	Colectores solares en operación**	[PJ]	[miles de barriles]
2007	125	-	965	4.6	1,098
2008	65	155	1,185	5.2	1,218
2009	79	251	1,515	6.1	1,442
2010	83	347	1,945	7.5	1,735
2011	77	443	2,465	9.0	2,082
2012	71	539	3,075	10.9	2,482
2013	79	634	3,788	13.0	2,950
2014	80	730	4,598	15.5	3,478
2015	81	826	5,505	18.3	4,076
2016	82	922	6,509	21.4	4,732

Fuente: CONAE, con base en la Asociación de Energía Solar (ANES) y estudio PROCALSOL.

* El PROCALSOL está diseñado para el periodo 2007-2012, sin embargo, se considera que sus efectos repercutan y continúe la tendencia en la instalación de colectores solares para los siguientes años.

** Se refiere a la suma de los metros cuadrados instalados durante un año, más los que ya se encuentran en operación y que fueron instalados en años anteriores.

En el caso del gas natural, para ese mismo año se estima que el ahorro de energía, en sustitución del gas natural, sea del 17.2%, lo que equivale a 10.1 millones de pies cúbicos diarios (mmpcd) de GN^[1.5] (tabla 2.7).

Tabla 2.7. Metros cuadrados instalados de colectores solares y estimación de ahorro de GN, proyección 2007-2016.

Año	Superficie de colectores solares [miles de m ²]			Generación de energía útil por equipos en operación	Ahorro de gas natural
	Desarrollo normal del mercado	Programa Procalsol*	Colectores solares en operación**	[PJ]	[mmpcd]
2007	125	-	965	4.6	1.4
2008	65	155	1,185	5.2	1.6
2009	79	251	1,515	6.1	2.1
2010	83	347	1,945	7.5	2.7
2011	77	443	2,465	9.0	3.4
2012	71	539	3,075	10.9	4.4
2013	79	634	3,788	13.0	5.6
2014	80	730	4,598	15.5	6.9
2015	81	826	5,505	18.3	8.4
2016	82	922	6,509	21.4	10.1

Fuente: CONAE, con base en la Asociación de Energía Solar (ANES) y estudio PROCALSOL.

* El PROCALSOL está diseñado para el periodo 2007-2012, sin embargo, se considera que sus efectos repercutan y continúe la tendencia en la instalación de colectores solares para los siguientes años.

** Se refiere a la suma de los metros cuadrados instalados durante un año, más los que ya se encuentran en operación y que fueron instalados en años anteriores.

3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO

Una vez que se conoce el potencial de uso de la energía solar para calentamiento de agua en México, así como las diferentes tecnologías que se utilizan, se ha desarrollado una metodología que permitirá evaluar cuantitativamente los beneficios energéticos, ambientales y económicos que una familia obtendría por acoplar un calentador solar de agua al calentador convencional de gas en su vivienda (sistema híbrido).

El establecimiento de dicha metodología busca tener un mecanismo de evaluación cuantitativa para el fomento del uso de los calentadores solares de agua en la Ciudad de México y zona metropolitana.

Para describir la metodología que se ha desarrollado en la presente tesis, se ha dividido en dos etapas: técnica, la cual se describe en el presente capítulo, y económica que se describirá en el capítulo 4.

3.1 Descripción del sistema híbrido

Para lograr siempre un adecuado suministro de agua caliente para uso residencial es conveniente utilizar un sistema híbrido, el cual se compone de un calentador solar, respaldado con un calentador convencional de gas. Dicho sistema se describe en la figura 3.1.

El funcionamiento es el siguiente: el calentador solar producirá una cantidad limitada de agua caliente, la cual dependerá de las condiciones climáticas que se presenten en un cierto día de operación. Cuando dicha cantidad de agua producida sea inferior al mínimo requerido según la demanda diaria, se tendrá que producir una cantidad extra por medio de un calentador convencional, el cual servirá de respaldo para garantizar así las necesidades diarias requeridas por los habitantes de una casa cualquiera. Por lo que a la salida de agua caliente del calentador solar se conecta a la entrada de agua fría del calentador convencional, mismo que se activará únicamente para proveer los requerimientos adicionales de consumo.

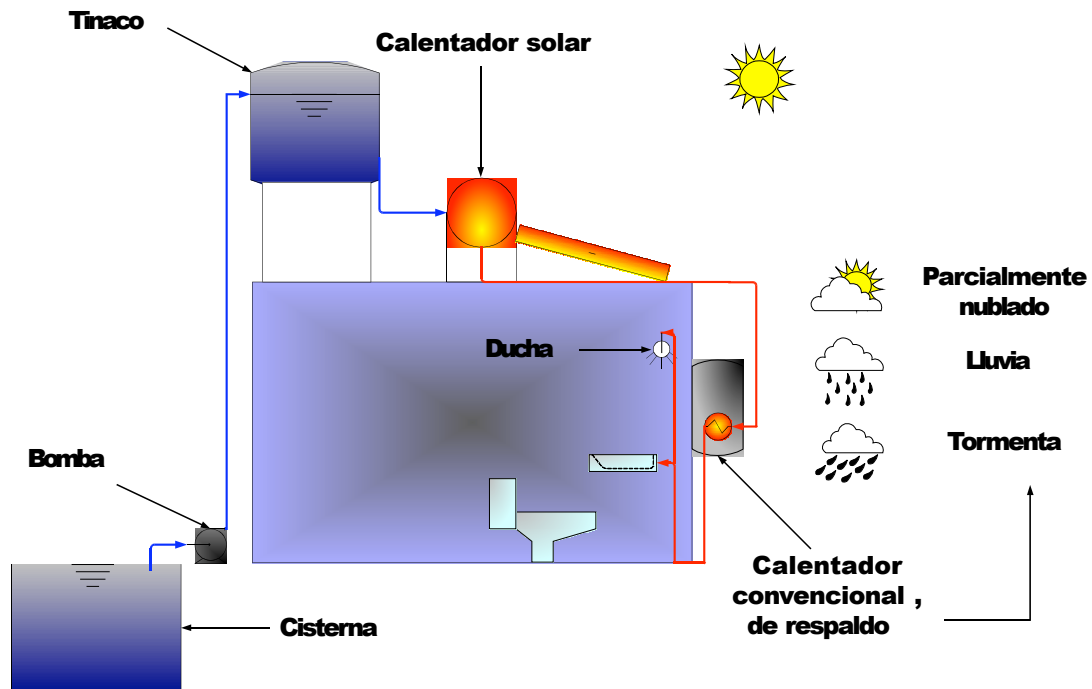


Figura 3.1 Descripción del sistema híbrido para el calentamiento de agua en una casa habitación.

La metodología que se ha desarrollado para la obtención de la cantidad de agua caliente que se puede producir al día, por medio de un sistema híbrido de calentamiento de agua, se basa en las normas mexicanas NMX-ES-001-NORMEX-2005^[1] (para calentadores solares) y NOM-003-ENER-2000^[2] (para calentadores de gas).

En la figura 3.2 se muestra la esquematización de la metodología técnica que hemos propuesto; es decir, los pasos que deben seguirse para obtener los resultados de la evaluación técnica. Esta metodología permite obtener tanto los consumos de energía del sistema convencional de gas y el consumo de energía del sistema híbrido, como los ahorros de energía, combustible (resultados energéticos), y emisiones generadas de CO₂ (resultados ambientales) que se tendrían al cambiar del primero al segundo.

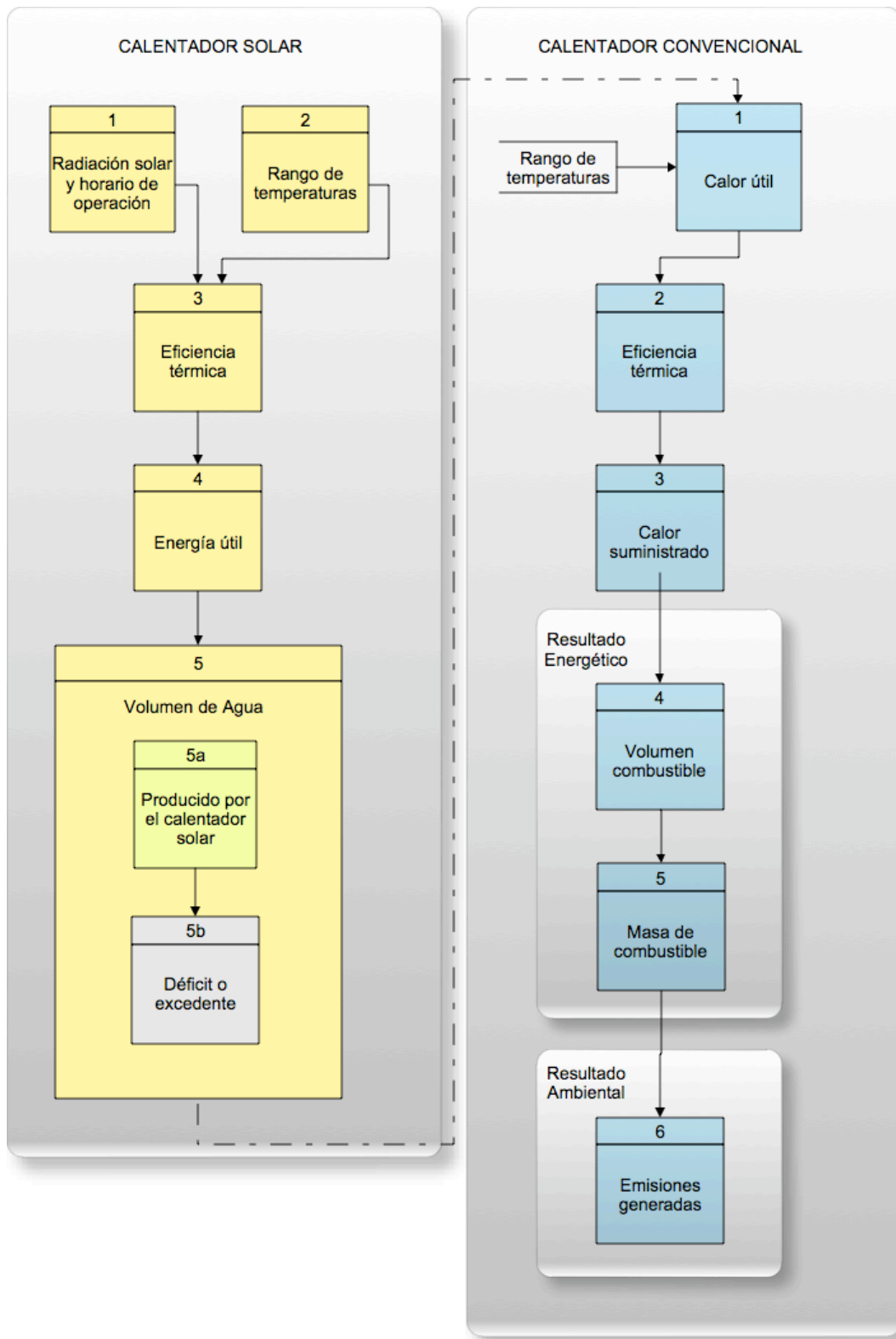


Figura 3.2 Metodología para el análisis técnico y ambiental

3.2 Metodología para el análisis técnico (energético y ambiental)

3.2.1 Calentador Solar

3.2.1.1 Radiación solar total y horario de operación

Debido a que un calentador solar depende de la cantidad de radiación solar que incide en él durante el día, se debe que conocer primero tal cantidad de energía. Para ello, primero se debe acotar el horario de operación para un día de trabajo (normalmente de 11 horas diarias) y asociar a éste su respectivo valor de radiación solar total; sin embargo, dicho valor de radiación depende de la localidad en donde se instale el calentador solar. Por medio de mapas de radiación solar^[3] y del programa denominado RADII^[4] se han encontrado los valores promedio mensuales para todo el año de la radiación solar total I_T que incide en la zona metropolitana de la Ciudad de México, los cuales se utilizaron en el análisis de esta metodología. Tales valores expresan la cantidad de energía que incide sobre dicha zona geográfica, los cuales están representados como en MJ/m^2 . Al multiplicar este valor por el tiempo de operación t_{op} que se tiene en un calentador solar y realizando las respectivas conversiones de unidades, se determina el valor de la cantidad de energía solar total suministrada G_T en W/m^2 que ingresa en el calentador solar y el cual sirve como base para realizar el análisis técnico. Todos estos valores se pueden observar en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Valores de radiación solar total promedio mensual en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Mes	Radiación solar total I_T [MJ/m ²]	Horario de operación t_{op} [h]	Energía solar total disponible G_T [W/m ²]
Enero	16.44	11	415.15
Febrero	18.1	11	457.07
Marzo	20.22	11	510.61
Abril	20.91	11	528.03
Mayo	21.02	11	530.81
Junio	19.91	11	502.78
Julio	19.27	11	486.62
Agosto	18.84	11	475.76
Septiembre	18.76	11	473.74
Octubre	17.15	11	433.08
Noviembre	16.2	11	409.09
Diciembre	14.84	11	374.75

3.2.1.2 Rango de temperaturas en la operación del calentador solar

Una vez que se ha determinado la cantidad de energía disponible que ingresa en el calentador solar se requiere conocer entonces el rango de temperaturas de operación que se tiene en un calentador solar, el cual depende de la aplicación y de la región para su instalación. A continuación se presenta la clasificación de dicho rango.

Temperatura de entrada del agua de alimentación

La temperatura del agua de alimentación en calentadores solares se considera como la temperatura promedio anual diaria, la cual está basada en los tres tipos de clima que prevalecen en las diferentes regiones de México, excepto para su uso en albercas al cual se le asignará un valor constante de 30 °C. Esto se observa en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Temperatura de entrada del agua de alimentación, dependiendo del clima.

Clima	T_{op} [°C]	
	Anual	DIC-JUL
Tropical	26	23.5 hasta 28.6
Templado	15.45	13.6 hasta 17.3
Semiárido	22.5	15.1 hasta 29.9

Temperatura promedio de operación del calentador solar

La temperatura de operación de un calentador solar es la temperatura que este mismo puede entregar como valor máximo. Dicha temperatura se ha clasificado según el tipo de aplicación para el cual fue diseñado, puede ser su utilización en albercas, y en los sectores residencial e industrial. Estas temperaturas se presentan como en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Temperatura de operación para colectores solares, según su aplicación.

Aplicación	T_{op} [°C]
Albercas	30
Residencial	50
Industrial	70

3.2.1.3 Eficiencia térmica del calentador solar

La evaluación de la eficiencia térmica que un calentador solar presenta en cada día de operación está basada en la ecuación particular que presenta cada equipo, obteniéndose ésta de la prueba experimental realizada a cada equipo. A manera de ejemplo y con base en la figura 3.2, la ecuación de eficiencia térmica presenta los siguientes términos:

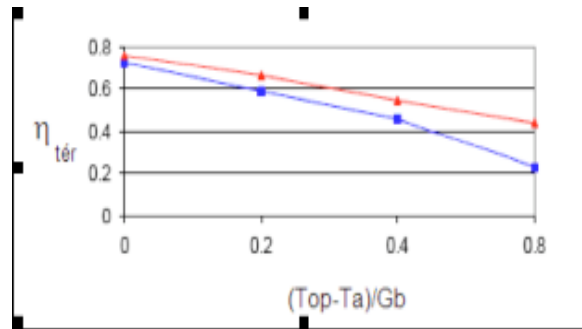


Figura 3.3 Curva de eficiencia térmica de un calentador solar.

$$\eta_{tér} = a - bx - cx^2 \quad (4.1)$$

Donde:

a , b y c son los coeficientes propios de cada calentador solar.

x se evalúa de la siguiente forma:

$$x = (T_{op} - T_a) / G_T \quad (4.2)$$

T_a = Temperatura ambiente, la cual es igual a la temperatura del agua a la entrada (tabla 3.2), en [°C].

T_{op} = Temperatura de operación del colector solar (tabla 3.3), en [°C].

G_T = Energía solar total suministrada (tabla 3.1), en [W/m^2].

3.2.1.4 Energía útil

Energía útil solar

Con base en la definición de eficiencia térmica se determina la energía útil que se obtiene para cada día de operación del calentador solar.

$$\eta_{tér} = \frac{Q_{ut}}{Q_{sum}} = \frac{Q_{ut}}{G_T} \quad (4.3)$$

Donde:

Q_{ut} = Energía útil que se obtiene del calentador solar para cada día de operación, en [W/m^2].

Q_{sum} = Energía suministrada por la radiación solar para cada día de operación, en [W/m^2].

Calor útil solar obtenido al día

Despejando la energía útil de la ecuación (4.3), multiplicando por el tiempo de operación y realizando la conversión de unidades ($t = 1 [h] = 3600 [s]$), se obtiene la expresión que determina el calor útil en un día de operación:

$$q_u = 3.6 \eta_{\text{térr}} G_T t_{\text{ope}} \quad (4.4)$$

Donde:

q_u = Calor útil obtenido en cada día de operación del calentador solar, en $[kJ/m^2]$.

t_{ope} = Tiempo de operación al día del colector solar (tabla 3.1).

Calor útil solar obtenido en el mes

Al multiplicar el calor útil obtenido por cada día de operación, por el número de días de cada mes, se tendrá el calor útil total en el mes en $[kJ/m^2]$:

$$q_{u_{\text{mes}}} = \text{ndías} q_u \quad (4.5)$$

Donde:

$q_{u_{\text{mes}}}$ = Calor útil del mes.

ndías = Número de días del mes.

3.2.1.5 Volumen de aguaVolumen producido de agua caliente al día por unidad de área

Para determinar el volumen producido de agua caliente para cada día de operación del calentador solar, se tiene lo siguiente:

A partir de la expresión para determinar el calor sensible y de la definición de la densidad:

$$q_u = m_{H_2O} C_{pH_2O} (T_{op} - T_a) \quad (4.6)$$

$$\rho_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{V_{H_2O}} \quad (4.7)$$

Donde:

m_{H_2O} = Masa del agua caliente, en [kg].

C_{pH_2O} = Calor específico del agua = 4.186 [kJ/kg °C].

ρ_{H_2O} = Densidad del agua caliente = 1,000 [kg/m³].

V_{H_2O} = Volumen del agua caliente, en [m³].

Despejando el volumen de agua caliente de la expresión (4.7) y sustituyendo en (4.6), se obtiene la siguiente ecuación:

$$V_{H_2O} = \frac{q_u}{\rho_{H_2O} C_{pH_2O} (T_{op} - T_a)} \quad (4.8)$$

Y al realizar las conversiones pertinentes:

$$V_{H_2O,l} = \frac{q_u}{4.186 (T_{op} - T_a)} \quad (4.9)$$

Donde:

$V_{H_2O,l}$ = Volumen de agua caliente producida por el calentador solar en un día de operación por m² de superficie instalada del colector, en [l/m² día].

Volumen producido de agua caliente al día

Para determinar el volumen total producido de agua caliente para cada día de operación del calentador solar se tiene lo siguiente: al multiplicar la ecuación (4.9) por el área propuesta del colector solar, la cual es función del número de personas que habitan la vivienda (información proporcionada por fabricantes de calentadores solares)^[5], se determina la cantidad total de agua en litros que el calentador solar puede producir al día:

$$V_{H_2O,T\text{ día}} = A_c V_{H_2O,l} \quad (4.10)$$

Donde:

$V_{H_2O,T\text{ día}}$ = Volumen de agua caliente producida por el calentador solar en un día de operación, en [l/día].

A_c = Superficie propuesta del colector solar, en [m²].

Volumen producido de agua caliente al mes

Al multiplicar la ecuación (4.10) por el número de días de cada mes, se determina la cantidad total que produce el calentador solar al mes (en litros):

$$V_{H_2O, Tmes} = ndías V_{H_2O, T día} \quad (4.11)$$

Donde:

$V_{H_2O, Tmes}$ Volumen de agua caliente producida por el calentador solar al mes, en [l/mes].

Requerimiento del consumo de agua caliente en una vivienda

El requerimiento para lograr el consumo diario en una vivienda para satisfacer su demanda de agua caliente, se obtiene de la siguiente forma:

$$V_{H_2O, R día} = N_p V_{H_2O, p} \quad (4.12)$$

Donde:

$V_{H_2O, R día}$ = Requerimiento del consumo de agua caliente para una vivienda al día, en [l/día].

N_p = Número de personas que habitan la vivienda.

$V_{H_2O, p}$ = Volumen estimado de agua caliente que requiere una persona para su consumo higiénico diario = 50 [l/día]^[6]

Excedente o requerimiento adicional de agua caliente por día en una casa habitación

Al comparar la diferencia del volumen producido por el calentador solar y el volumen requerido en el consumo de una vivienda se sabrá si es necesario obtener un volumen de agua caliente adicional, el cual se determina de la siguiente forma:

Si:

$$V_{H_2O, R día} < V_{H_2O, T día}$$

Entonces no se requiere de un volumen adicional de agua caliente para un día específico.

Por el contrario, si:

$$V_{H_2O, T día} < V_{H_2O, R día}$$

Entonces se requiere una cantidad adicional de agua caliente, la cual se determina de la siguiente manera:

$$V_{H_2O, adi} = V_{H_2O, T \text{ día}} - V_{H_2O, R \text{ día}} \quad (4.13)$$

Donde:

$V_{H_2O, adi}$ = Volumen de agua caliente adicional, producido por el calentador convencional, en [l/día].

3.2.2 Calentador de agua convencional

Si durante un día de operación se determina que el calentador solar no puede producir la cantidad total de agua caliente que se requiere al día, se utilizará el calentador convencional como sistema de respaldo, completando así la necesidad diaria. A continuación se presenta la metodología seguida para obtener los consumos de energía utilizando un calentador convencional de gas.

3.2.2.1 Calor útil

Calor útil convencional obtenido al día

Nuevamente, de la expresión de calor sensible en función de la diferencia de temperatura que se tiene en un calentador de gas convencional se obtiene:

$$Q_{uc} = m_{H_2O} C_{pH_2O} (T_{opc} - T_a) \quad (4.14)$$

Y en función del volumen de agua extra a calentar en un día resulta:

$$Q_{uc} = \rho_{H_2O} V_{H_2O, adi} C_{pH_2O} (T_{opc} - T_a) \quad (4.15)$$

Donde:

Q_{uc} = Calor útil extra producido por el calentador convencional, en [kJ/día].

$V_{H_2O, adi}$ = Volumen adicional de agua caliente requerido, en [m³].

T_{opc} = Temperatura de operación del calentador convencional de gas.

$T_{opc} = 70$ °C, si se trata de un calentador de depósito.

$(T_{opc} - T_a) = 25$ °C, si se trata de un calentador instantáneo.

Calor útil convencional obtenido al mes

El calor útil obtenido al mes se determina de la siguiente manera:

$$Q_{Tmes} = n \text{ días } Q_{uc} \quad (4.16)$$

3.2.2.2 Eficiencia térmica del calentador convencional

De la definición de la eficiencia térmica aplicada al calentador convencional se determina el calor suministrado por el calentador convencional:

$$\eta_{térc} = \frac{Q_{uc}}{Q_{sumc}} \quad (4.17)$$

Donde:

$\eta_{térc}$ = Eficiencia térmica del calentador convencional.

Q_{sumc} = Calor suministrado por el calentador convencional, en [kJ].

3.2.2.3 Calor suministradoCalor suministrado convencional al día

El calor suministrado al día se puede obtener en función del volumen consumido y del poder calorífico del combustible (tabla 3.4):

$$Q_{sumc} = V_{comb} PCCi \quad (4.18)$$

Donde:

Q_{sumc} = Calor suministrado al día, en [kJ/día].

V_{comb} = Volumen de combustible consumido, en [m³].

$PCCi$ = Poder calorífico inferior del combustible.

Tabla 3.4 Densidad y poder calorífico inferior de los combustibles
GLP^[2] y GN^{*[7]}.

Combustible	ρ [k/m ³]	PCCi [kJ/m ³]
GLP	1.5	86290.4
GN	0.6	36580.8

*Valor promedio

Calor suministrado convencional al mes

El calor suministrado al mes se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{sumc,mes} = ndías Q_{sumc} \quad (4.19)$$

3.2.2.4 Volumen del combustibleVolumen de combustible consumido en un día

Para conocer el volumen de combustible que se ha consumido para satisfacer la demanda adicional, se despeja de la ecuación (4.18):

$$V_{comb} = \frac{Q_{sumc}}{PCCi} \quad (4.20)$$

Volumen del combustible consumido en un mes

De igual forma, para obtener el volumen de combustible consumido en un mes se tendrá lo siguiente:

$$V_{comb,mes} = ndías V_{comb} \quad (4.21)$$

3.2.2.5 Masa del combustibleMasa del combustible consumido en un día

De la definición de la densidad y en función del volumen consumido por el combustible en un día de operación del calentador convencional, se encuentra la masa de este mismo:

$$m_{comb} = \rho_{comb} V_{comb} \quad (4.22)$$

Masa del combustible consumido en un mes

De igual forma, para obtener la masa del combustible que se consumió en un mes de operación del calentador convencional, se tiene lo siguiente:

$$m_{comb,mes} = ndías m_{comb} \quad (4.23)$$

3.2.2.6 Emisiones generadas por el calentamiento de agua con combustibles fósiles

Para lograr el calentamiento de agua adicional que se requiere para satisfacer la demanda total en la vivienda de una zona urbana, se utilizan principalmente los combustibles fósiles GLP y GN. Por lo que las emisiones generadas de CO₂ al quemar dichos combustibles se obtienen por medio del factor de emisión, el cual está basado en las toneladas generadas de CO₂ al consumir una cantidad de energía proporcionada por el combustible^[8]. Los factores utilizados en esta metodología se presentan en la tabla 3.5:

Tabla 3.5 Factor de emisión del GLP y GN.

IPCCLP [t kg _{CO2} /TJ]	IPCCGN [t kg _{CO2} /TJ]
63.1	56.1

Emisiones generadas de CO₂ en un día

Para un día de operación de un calentador convencional, las emisiones generadas de CO₂ se obtienen de la siguiente forma:

$$E_{CO_2} = IPCCc Q_{sumc} \quad (4.24)$$

Donde:

$IPCCc$ = Factor de emisión que emite cada combustible (tabla 3.5).

Emisiones generadas de CO₂ en un mes

Para un mes de operación de un calentador convencional, las emisiones generadas de CO₂ se obtienen como sigue:

$$E_{CO_2,mes} = ndías E_{CO_2} \quad (4.25)$$

4. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO

Una vez evaluadas las alternativas energética y ambiental, se tomará una decisión (acoplar o no un calentador solar de agua a uno convencional), y para ello es necesario conocer los beneficios económicos que implicará dicha decisión.

Dado que la Investigación de Operaciones (IO) es la ciencia que se ocupa de la toma de decisiones, ayudando a “desarrollar el conocimiento base y las herramientas necesarias para comprender los problemas de decisión, traducirlos a términos analíticos y luego resolverlos”,^[1] el enfoque de IO busca que el proceso en la toma de decisiones se realice con una base de conocimiento sólida para efectuar la mejor elección.

Para proporcionar los elementos cuantitativos que permitan comprender los beneficios económicos mediante un enfoque de IO, se ha considerado utilizar técnicas de evaluación de proyectos.

4.1 Evaluación de proyectos

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema, que tiende a resolver una necesidad humana.^[2]

La idea de un proyecto es una abstracción, ya que es muy difícil saber si tendrá o no posibilidades de éxito.

La evaluación de proyectos es un instrumento que provee de información para ayudar al proceso de la toma de decisiones, ya que permite medir y comparar los beneficios y costos que podrían generarse con la eventual materialización del proyecto evaluado.^[3]

Aunque no se puede hablar de una metodología rígida que guíe la toma de decisiones sobre un proyecto, generalmente lo primero que debe hacerse es realizar un análisis que abarque la consideración de todos los factores que participan y afectan al proyecto. Se determinan los posibles cursos de acción que se pueden seguir y las consecuencias cuantificables de cada uno de ellos.

En la búsqueda de soluciones se deben considerar tanto los enfoques legal, técnico y económico, como el político y el social, ya que son complementarios en el logro de los mejores resultados del proyecto en su totalidad.

Para identificar los costos y beneficios de un proyecto se debe definir una situación base o “sin proyecto”; la comparación de lo que sucede con un proyecto o sin él, determinará claramente los costos y beneficios pertinentes del mismo.

4.1.1 Proyectos de inversión

Un proyecto de inversión se puede describir como aquel que implica una erogación de recursos, con el objeto de producir un bien o servicio útil al ser humano o a la sociedad en general.

La evaluación de un proyecto de inversión tiene por objeto conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable. Sólo así es posible asignar los escasos recursos económicos a la mejor alternativa.^[4]

Los proyectos de inversión se pueden tipificar de acuerdo a su dependencia, con la finalidad de la inversión o del estudio del proyecto.

- De acuerdo con su dependencia, los proyectos de inversión se clasifican en:
 - Independientes
 - Dependientes
 - Excluyentes

- De acuerdo con la finalidad de la inversión:
 - Creación de nuevas empresas
 - Reemplazo de activos
 - Ampliación
 - Abandono
 - Externalización (*outsourcing*)
 - Internalización

- De acuerdo a los resultados que se esperan obtener:
 - Rentables
 - No rentables: aquellos cuyo objetivo es no obtener utilidades en forma directa.
 - No medibles: su objetivo es lograr una utilidad en forma directa, siendo difícil cuantificar la misma.

4.1.2 Estudios de factibilidad

Como se mencionó con anterioridad, antes de realizar la evaluación de un proyecto existe una gran incertidumbre sobre los resultados que se podrían obtener si se llega a materializar el proyecto. Los estudios de factibilidad o viabilidad contribuyen a dar una idea clara sobre si es posible de llevar a cabo el proyecto, tomando en cuenta diversas perspectivas.

Dependiendo del tipo de proyecto y de los aspectos involucrados, los estudios de factibilidad pueden ser:

- **Técnicos:** su objetivo es comprobar si es posible, física o materialmente, hacer el proyecto.
- **Legales:** verifica la inexistencia de restricciones legales para la habilitación y operación normal del proyecto.
- **Económicos:** debe determinar la magnitud de los beneficios netos del proyecto mediante la comparación de sus costos y beneficios proyectados.
- **Administrativos:** se debe demostrar que existen las capacidades gerenciales para llevar a cabo el proyecto.

Usualmente, el estudio de una inversión se centra en la viabilidad económica o financiera, por lo que para esta tesis sólo se considerará la factibilidad económica para la evaluación del proyecto.

4.1.3 Proceso de un proyecto de inversión

Existen cuatro grandes variables que integran la evaluación de un proyecto de inversión:

- Estimación del monto de la inversión inicial.
- Estimación de los flujos futuros esperados para determinar el flujo de efectivo libre para cada periodo.
- Momento o periodo en que se dará cada flujo futuro esperado.
- El valor del dinero en el tiempo, es decir, una tasa que represente tanto el costo de oportunidad como el riesgo.^[5]

Para llevar a cabo la evaluación se debe seguir un proceso que consta de los siguientes pasos:

- Definición del proyecto.
- Definición de supuestos y datos sobre los que se harán las predicciones futuras.
- Realizar cálculos iniciales.
- Elaborar los estados financieros futuros (flujos de efectivo).
- Definir el flujo de efectivo libre.

- Llevar a cabo la evaluación del proyecto con técnicas que consideren el valor del dinero en el tiempo (VPN, TIR).^[5]

Si el proyecto implica un riesgo puede realizarse un análisis de sensibilidad y proponer estrategias para la reducción de dicho riesgo.

4.2 Metodología para el análisis económico

El análisis económico del proyecto pretende determinar el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, los costos asociados al mismo, así como otra serie de indicadores que nos sirvan de base para determinar la viabilidad económica del proyecto.

En la figura 4.1 se muestra la esquematización de la metodología para la evaluación económica que hemos propuesto. Dicha metodología permite obtener el ahorro económico derivado de los ahorros energéticos logrados en la evaluación técnica, así como el ahorro total obtenido durante el ciclo de vida del proyecto. Asimismo, se obtienen los resultados de la aplicación de métodos de evaluación de proyectos que permiten considerar si el proyecto debe ser aceptado, o en su caso, rechazado.

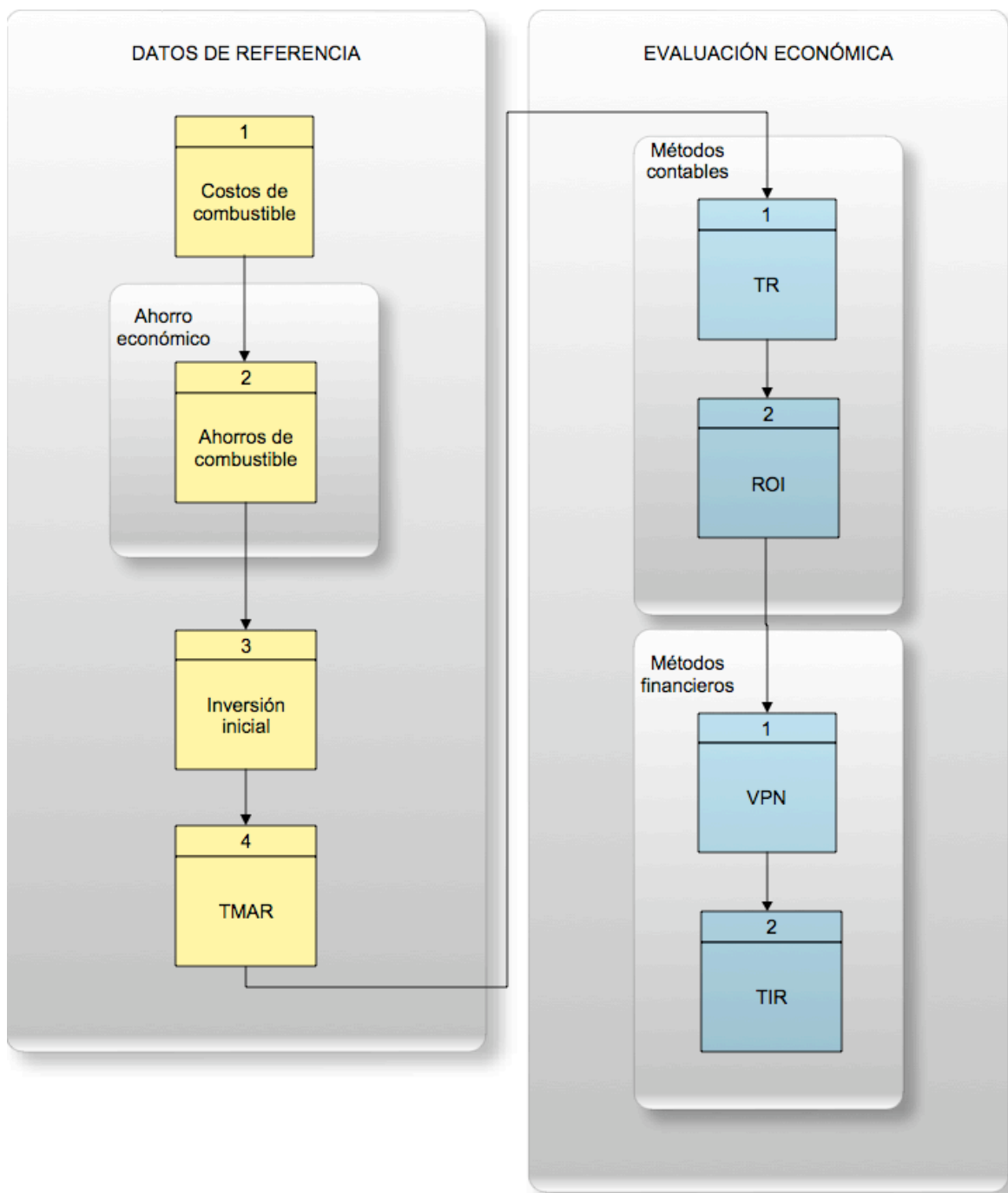


Figura 4.1 Metodología para el análisis económico.

4.2.1 Determinación de los costos de combustible

A continuación se muestra la metodología para obtener los costos de combustible que generará el proyecto. Éstos deben ser calculados tanto para la situación “sin proyecto” como para la situación “con proyecto”.

4.2.1.1 Gas LP

Los precios de venta de primera mano del Gas LP se encuentran sujetos a regulación a cargo de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), la cual establece la metodología para su determinación. De acuerdo con la resolución 024/2008 publicada por la Secretaría de Energía (SENER RES/024/2008^[9]) relacionada con el establecimiento de los precios máximos de venta al usuario final se establece, en primera instancia, que el promedio ponderado nacional de dicho precio observe incrementos mensuales de 0.33% a lo largo del año.

Para efectos de esta tesis y la determinación de los costos del Gas LP se utiliza como precio base 10.05 pesos por Kg, el cual fue establecido para el mes de noviembre de 2008, publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 31 de octubre del mismo año. Es importante mencionar que dicho precio ya incluye el precio de venta de primera mano, el flete del centro embarcador a la planta de almacenamiento para su distribución, el margen de comercialización del distribuidor y el IVA.

4.2.1.2 Gas Natural

En el caso del Gas Natural, los precios de referencia para calcular el precio de venta de primera mano, se encuentran bajo control de la Comisión Reguladora de Energía, de acuerdo con la Disposición DIS-GAS-001-1996^[10] que establece la Directiva sobre la Determinación de Precios y Tarifas para las Actividades Reguladas en Materia de Gas Natural y la resolución RES/046/2005.^[11]

Para proyectar el precio de venta de primera mano fue necesario recopilar información histórica, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* sobre los precios del Gas Natural para 2006, 2007 y enero a mayo de 2008. Asimismo, se obtuvieron los índices inflacionarios para gas de los últimos 10 años.

Los índices inflacionarios y los precios del gas fueron tabulados obteniéndose una gráfica, la cual fue ajustada utilizando la herramienta Excel. Manejándose como una serie de tiempo y ajustando a una ecuación no lineal (semilogarítmica) se obtuvo la ecuación de regresión con un factor de correlación de $r^2=0.98$.

$$PGN_{USD/GJ} = 1.6619 \ln(i) + 6.1897 \quad (4.1)$$

Donde:

i = mes proyectado

Precio de facturación

El precio de facturación al usuario final, para el sector residencial, se calcula de la siguiente forma:

Cálculo del precio por adquisición

Para determinar el precio de adquisición se toma en cuenta el precio de venta de primera mano del gas natural, que es aquel que se proyectó a partir de datos históricos.

Sin embargo, debido a la inestabilidad actual del mercado y con el fin de proteger la economía de los consumidores, la Comisión Reguladora de Energía en su resolución RES/260/2008^[12] establece que el precio de venta de primera mano para el cálculo del precio de adquisición, a partir de agosto de 2008, tendrá un deslizamiento mensual de 0.5% en los meses de invierno (noviembre a marzo) y de 2.5% en los meses de verano (abril a octubre) hasta llegar al precio de 9.74 USD/GJ, a partir de lo cual el precio se mantendrá estable por un periodo de tres años. Para efectos de los cálculos en el precio de adquisición del gas natural en esta tesis, se tomó como precio base 8.388 USD/GJ, correspondiente al precio fijado para agosto de 2008. Dicho precio variará de acuerdo a lo establecido por la CRE hasta llegar a 9.74, el cual permanecerá estable para los tres años subsecuentes y se incrementará con la tendencia inflacionaria obtenida a partir de los datos históricos para completar los 10 años de vida del proyecto (ec. 4.1).

El poder calorífico del gas natural (PCCi) se tomó de la tabla 4.4, mientras que para la conversión a pesos mexicanos se utilizó un precio promedio de dólar de 11.88 obtenido a partir de las cotizaciones de los últimos tres meses del Banco de México (septiembre a noviembre 2008).

$$PGN_{MN} = 11.88 PCCi PGN_{USD/GJ} \quad (4.2)$$

Cálculo del precio de distribución con comercialización

Para efectuar este cálculo se utilizaron los costos correspondientes a 2007 y 2008 de la empresa MetroGas para el Distrito Federal, periodo en que se han mantenido constantes.

El valor de referencia para el cálculo que corresponde al monto por uso y capacidad es de 41.57.

$$CDCCGN = 41.57 PCCi \quad (4.3)$$

Costo del cargo por servicio

Para determinar el costo del cargo por servicio se utilizaron los precios correspondientes a 2008 de la empresa MetroGas para el Distrito Federal, que corresponde a un valor de \$22.56 pesos.

Cálculo del costo total de combustible (Gas Natural)

Una vez obtenidos los costos de adquisición, distribución con comercialización y costo del cargo por servicio, se multiplican por el volumen de gas consumido al día para cada mes, y se suma el 15% de IVA para obtener el estimado de lo que el usuario final pagará de Gas Natural para calentar agua para la ducha en su vivienda.

$$GGN = PGN_{MN} + CDCCGN + Cargo_por_servicio V_{comb} + IVA \quad (4.4)$$

4.2.2 Determinación de los ahorros de combustible

Una vez determinados los costos de combustible en ambas situaciones (con proyecto y sin proyecto), se deben calcular los ahorros generados, los cuales serán tratados como beneficios obtenidos con dicho proyecto y para efectos del estado de resultados se consideran como ingresos adicionales o costos reducidos del proyecto.

$$Ahorro = GGN_{conv} - GGN_{conv-solar} \quad (4.5)$$

4.2.3 Inversión inicial del proyecto

La inversión inicial corresponde al monto o valor del desembolso que la empresa hará al momento de invertir en el proyecto.

Para la presente tesis, el monto de la inversión inicial incluye el costo del Calentador Solar de Agua, más el costo de instalación, más el IVA. El valor de referencia se obtuvo promediando los costos encontrados tanto en documentación técnica como los obtenidos de diferentes distribuidores en el país, considerando un valor de \$5000.00.^[12]

4.2.4 Tasa mínima de rendimiento

La tasa mínima de rendimiento (TMAR) se determinó tomando como referencia una tasa de 15% de descuento, ya que ésta es la tasa considerada por la CONAE en su evaluación sobre alternativas financieras para la promoción del uso de Calentadores Solares en el Sector Doméstico Mexicano.^[13]

4.2.5 Aplicación de los métodos para la evaluación económica

Para la aplicación de los métodos que se realizarán en el análisis económico considerado por esta metodología, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Vivienda existente: el Calentador Solar opera como precalentador del agua de un calentador convencional ya instalado.
2. Para la adquisición del calentador solar, sólo se considera “Pago de contado”.
3. Los costos de operación y mantenimiento son despreciables.
4. El periodo del proyecto se considera de 10 años, ya que aun cuando la vida útil de un calentador solar es mayor, éste es el plazo establecido para la vigencia de la garantía otorgada por los fabricantes / distribuidores de los equipos.

Los métodos considerados para la evaluación económica son los siguientes:

1. Tiempo de Recuperación Simple (TR)
2. Rendimiento de la Inversión (ROI)
3. Valor Presente Neto (VPN)
4. Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

4.2.5.1 Métodos de evaluación económica que toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo

Dentro del ciclo de vida de un proyecto de inversión existe un indicador denominado *interés*, el cual es fundamental para conocer la rentabilidad de un proyecto.

El interés es el costo de capital, es decir, la renta que se paga por el uso del dinero.

Debido a que el dinero puede generar un interés cuando se invierte por un determinado periodo, usualmente un año, es importante considerar que un peso que se reciba en el futuro tendrá un valor menor que un peso que se tenga actualmente, ya que un peso que se tenga hoy puede generar intereses durante el tiempo, por lo tanto, el valor del dinero a través del tiempo significa que cantidades iguales de dinero no tienen el mismo valor si se encuentran en puntos diferentes del tiempo y si la tasa de interés es mayor que cero.

Valor Presente Neto (VPN)

El método del valor presente neto consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros, que generará un proyecto comparándolo con el desembolso o inversión inicial para dicho proyecto. Cuando la equivalencia es mayor que la inversión inicial, entonces el proyecto es recomendable.^[6]

Este método considera el valor del dinero en el tiempo al seleccionar adecuadamente un valor de i (tasa de descuento), la cual generalmente corresponde a la tasa mínima aceptable de recuperación (*TMAR*) de la propia empresa.^[4]

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n + VS}{(1+i)^n} \quad (4.6)$$

Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

En términos económicos, la TIR representa la tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión, de manera que el saldo al final de la vida del proyecto es cero.^[6] Es decir, es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero.^[4]

Es llamada tasa interna de rendimiento porque se supone que el dinero ganado año con año se reinvierte en su totalidad.^[4] Es decir, que dicha tasa iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

$$P = \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n + VS}{(1+i)^n} \quad (4.7)$$

donde $TIR = i$

4.2.5.2 Métodos de evaluación económica que no toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo

Recuperación simple de la inversión (TR)

El tiempo de recuperación de la inversión es el que se necesita para recuperar el dinero invertido inicialmente en un negocio o proyecto. Puede considerarse como el tiempo que le toma a la operación del proyecto generar el suficiente flujo de efectivo para compensar o cubrir la inversión realizada por una persona. También se le conoce como periodo de recuperación.^[7]

Para calcular el tiempo de recuperación simple sólo se consideran los flujos de efectivo, sin tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo. De esta forma se comparan directamente los flujos de efectivo operativos netos generados por el proyecto, con la inversión neta para determinar el periodo (número de años, meses, semanas o días) que se requiere para que el dinero generado por el negocio o proyecto, sea igual al que se invirtió para iniciar y mantener operando el mismo.

Para un proyecto independiente, es decir, aquel en el cual no se consideran otros posibles proyectos simultáneamente, el criterio de decisión que debe seguirse es el siguiente:

“Se acepta el negocio o proyecto si el tiempo de recuperación simple es menor que la vida económica del proyecto”.

$$TR = \frac{\textit{Inversión Inicial}}{\textit{Beneficios Anuales} - \textit{Costos Anuales}} \quad (4.8)$$

Rendimiento de la Inversión (ROI)

El rendimiento de la inversión es la razón de la eficacia de un proyecto para generar utilidades con la inversión que posee, es decir, mide la proporción de la inversión que se convierte en utilidades.^[8]

El cálculo se realiza tomando en cuenta las utilidades netas y el monto de la inversión:

$$ROI = \frac{\textit{Utilidades Netas}}{\textit{Inversión}} \quad (4.9)$$

5. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA HIFUCSA

A partir de la metodología desarrollada en los capítulos 3 y 4 para el Análisis Técnico y Evaluación Económica respectivamente, se implementó la denominada: “Herramienta Interactiva para el Fomento en el Uso de los Calentadores Solares de Agua” (HIFUCSA), para la Ciudad de México.

Dado que uno de los objetivos del presente trabajo es desarrollar una herramienta que permita presentar de manera ilustrativa los resultados obtenidos de las estimaciones técnica, ambiental y energética en forma sencilla y concisa, y que sea de fácil manejo para el usuario, se pensó que dicha herramienta debía ser implementada mediante una aplicación desarrollada para el World Wide Web (WWW). Para ello, se tomaron en cuenta los resultados obtenidos por la Asociación Mexicana de Internet (AMIPCI) en 2007, donde muestra que en México existen 23.7 millones de internautas, de los cuales el 80% son mayores de 19 años; es decir, potenciales jefes de familia. Además, se considera que en dicho año, la Internet se consolidó como el tercer medio de comunicación masiva en nuestro país.^[1]

Para desarrollar la herramienta interactiva, dado que ya se contaba con la metodología para las evaluaciones técnica y económica, ésta se tomó como referencia para la construcción del algoritmo computacional, por lo que sólo se hace referencia al diseño conceptual del sitio web, al diseño modular y al análisis de flujo de datos, donde se presentan las entradas, el proceso y la salida de datos.

5.1 Diseño conceptual del Sitio Web

El World Wide Web, W3 o WWW es una de las herramientas más potentes de intercambio de información con que cuenta la Internet. Este sistema global, interactivo y dinámico está basado en páginas de hipertexto, que es un sistema de texto en el cual es posible avanzar de un punto a otro fácilmente, obtener información, regresar al primer punto y desplazarse (navegar) por el texto siguiendo los enlaces adecuados de acuerdo a los intereses que se tengan en un momento dado.

Para diseñar una herramienta Web, primero se debe crear el diseño conceptual del sitio; esto es, crear una estructura de enlaces entre páginas y determinar qué información se obtendrá de cada página web.

La herramienta HIFUCSA consta de una página principal y tres módulos secundarios (figura 5.1).

1. Inicio

La página de inicio corresponde a la presentación como tal de la herramienta. Es la primera página accesible al usuario (figura 5.2).

2. Evaluación

Es la parte fundamental de la herramienta, este módulo comprende un formulario que toma los datos del usuario, procesa la información y genera los resultados.

3. Conceptos generales

Este módulo es informativo, ya que pretende dar a conocer los principales conceptos sobre energía relacionados con el proyecto.

4. Créditos

Únicamente muestra las personas involucradas en el desarrollo del trabajo.

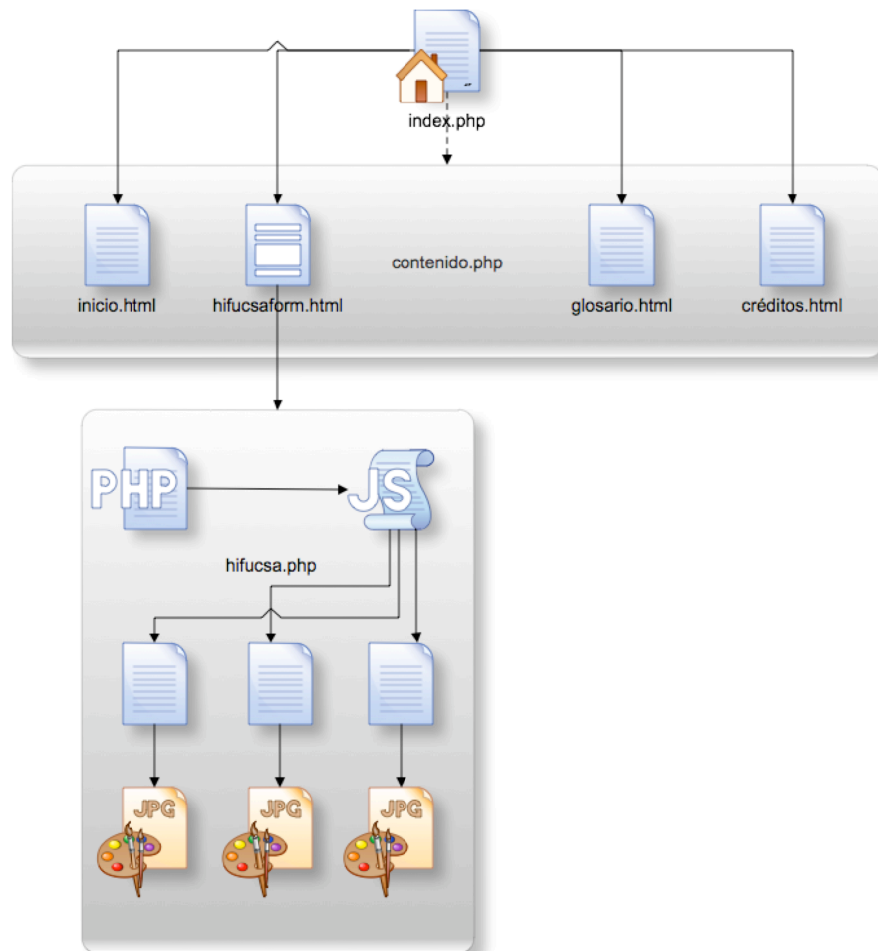


Figura 5.1 Mapa conceptual del sitio web.



Figura 5.2 Página inicial de la herramienta desarrollada.

5.2 Análisis de datos

El módulo de evaluación de la herramienta es el motor principal de la misma, el cual consta de una serie de programas que permiten obtener el resultado de las evaluaciones técnica y económica.

Con el fin de entender cómo trabaja, deben establecerse el flujo de información y las salidas esperadas.

Los datos proporcionados por el usuario son:

- Número de habitantes de la vivienda
 - En caso de que el número de habitantes exceda de 4, se requiere el número de calentadores solares a considerar para el estudio (1 o 2).
- Tipo de calentador convencional con el que cuenta (Depósito o Instantáneo).
- Tipo de gas utilizado para el calentador convencional (LP o Natural).

El proceso de datos consta de dos fases:

5.2.1 Evaluación técnica

Los datos generados para esta fase de evaluación son:

- Litros de agua caliente requeridos para la ducha.
- Litros de agua caliente suministrados por el calentador convencional (con proyecto y sin proyecto).
- Litros de agua caliente suministrados por el calentador solar.
- Volumen (Gas Natural) o masa (Gas LP) requerida para calentar el agua (con proyecto y sin proyecto).
- Emisiones generadas de CO₂ por el uso del combustible fósil (con proyecto y sin proyecto).

5.2.2 Evaluación económica

Este proceso toma como datos de entrada:

Para Gas LP

- Masa de Gas LP requerida para calentar el agua (con proyecto y sin proyecto).
- Precio inicial del Gas LP.

Para Gas Natural

- Volumen de Gas Natural requerido para calentar el agua (con proyecto y sin proyecto).
- Precio inicial del Gas Natural.
- Poder calorífico del combustible.

Los resultados obtenidos son:

- Para la evaluación energética:
 - Ahorro mensual y anual de combustible (con proyecto y sin proyecto).
 - Gráfica comparativa.
- Para la evaluación ambiental:
 - Ahorro mensual y anual en emisiones de CO₂ (con proyecto y sin proyecto).
 - Gráfica comparativa.
- Para la evaluación económica:
 - Costos anuales y total de combustible (con proyecto y sin proyecto).
 - Ahorros anuales y total en combustible.
 - Gráfica comparativa.
 - Resultados obtenidos por la aplicación de los métodos de evaluación económica:
 - Tiempo de Recuperación Simple (TR).
 - Rendimiento de la Inversión (ROI).
 - Valor Presente Neto (VPN).
 - Tasa Interna de Rendimiento (TIR).

En la figura 5.3 se muestra una vista de los resultados generados por la herramienta para la evaluación energética.

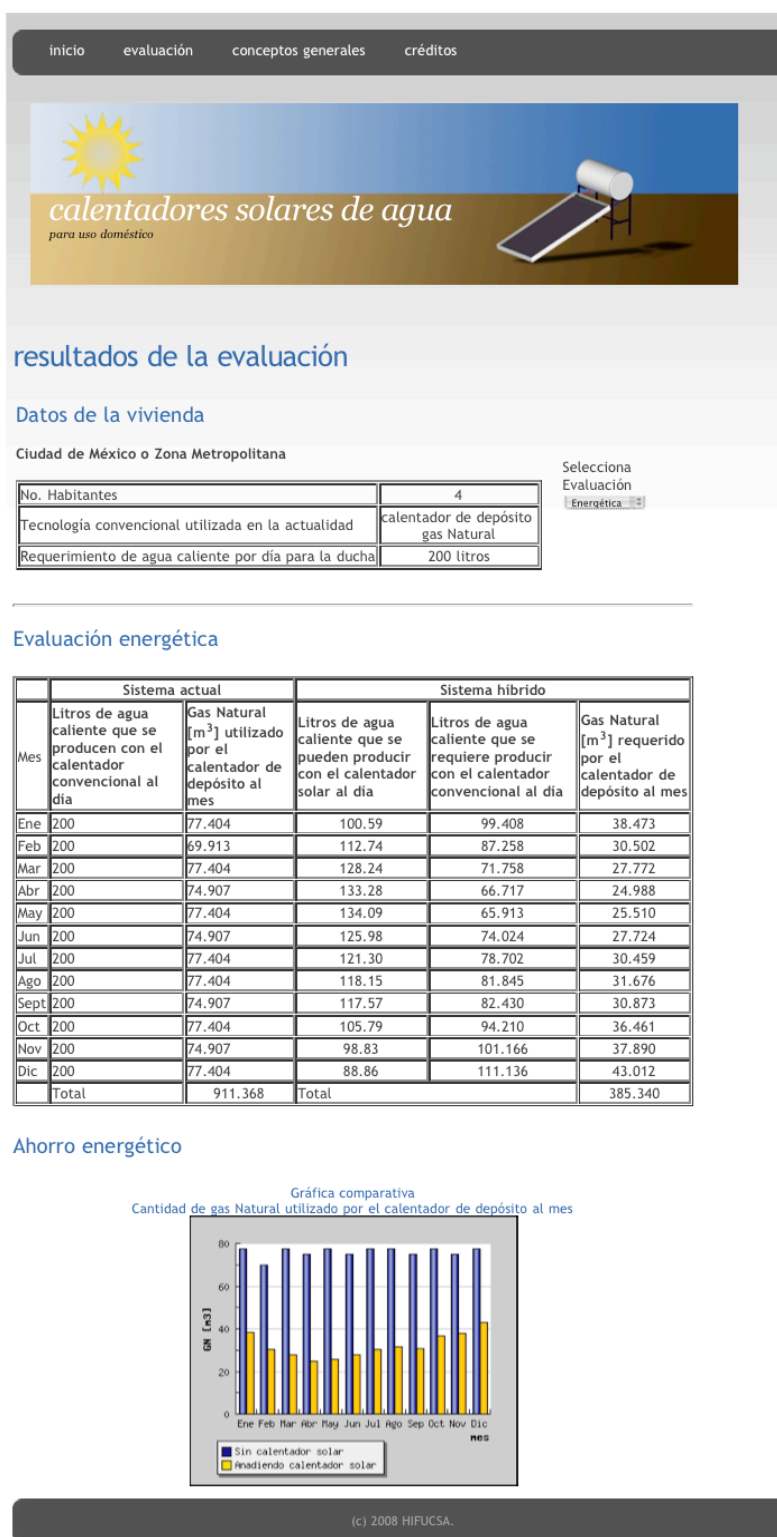


Figura 5.3 Vista de los resultados de la evaluación generada por la herramienta. Evaluación energética.

5.3 Diseño del programa

Para implementar el módulo de evaluación se construyó el algoritmo computacional basado en la metodología propuesta en los capítulos 3 y 4. A continuación se muestran los diagramas generales de flujo utilizados (figuras 5.4 y 5.5).

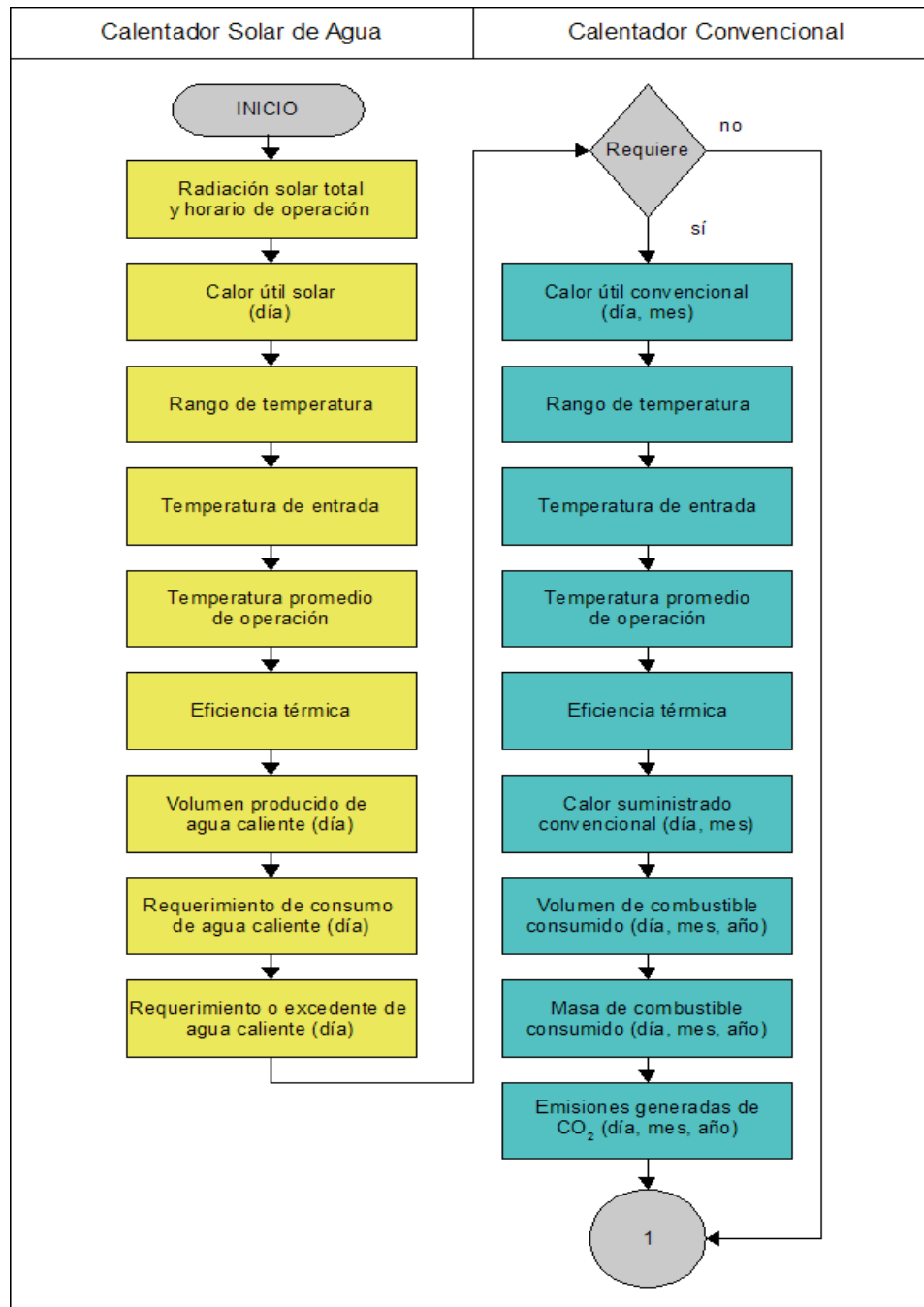


Figura 5.4 Diagrama de flujo. Análisis técnico.

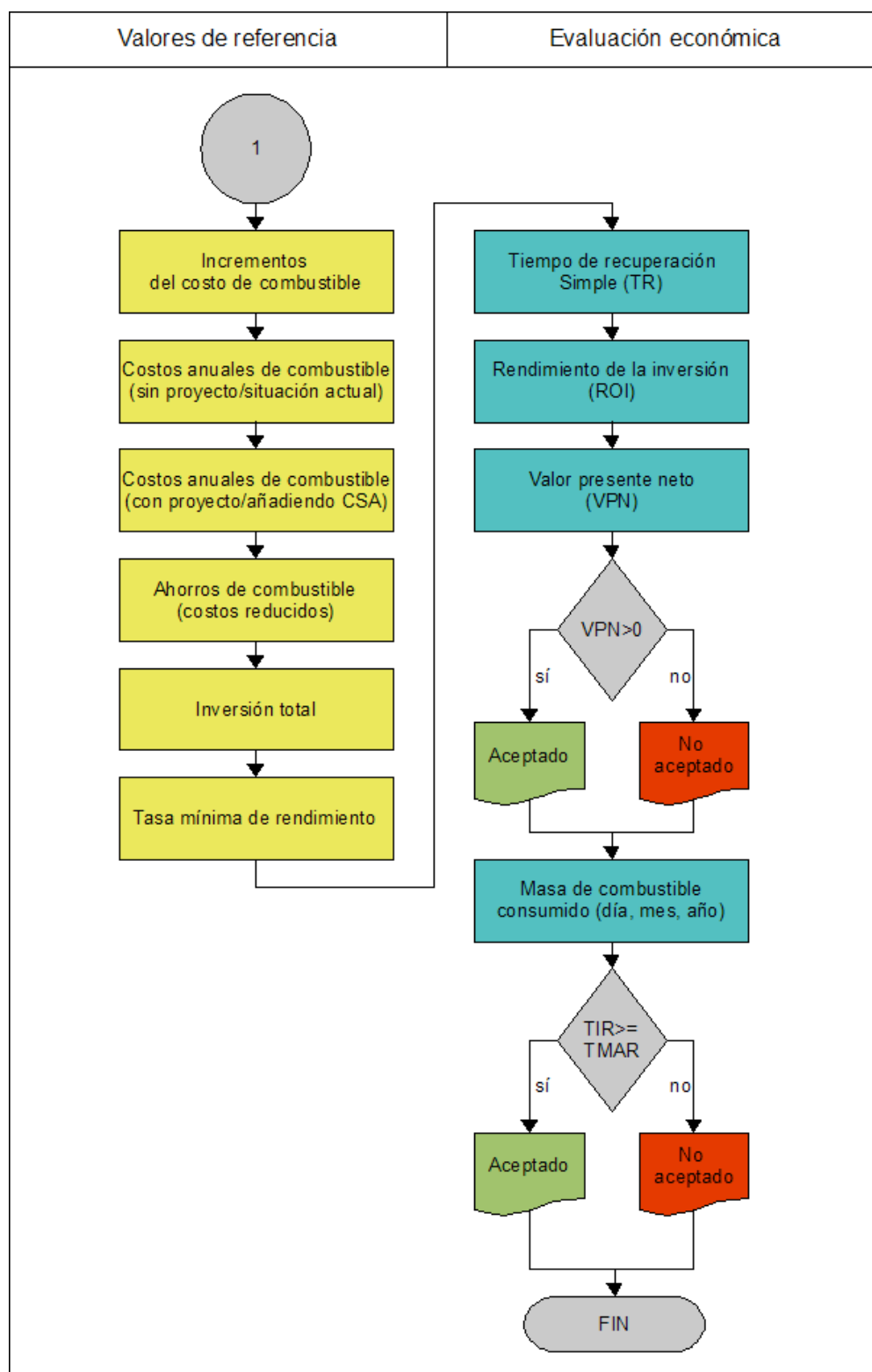


Figura 5.5 Diagrama de flujo. Análisis económico.

5.4 Requerimientos de software

Para desarrollar la herramienta nos centramos en emplear un enfoque de uso de software libre.

Los lenguajes utilizados para la programación fueron:

- HTML
- Javascript
- PHP4

Para las gráficas empleamos:

- JGraph. Biblioteca PHP para generación de gráficas.

Para la implementación de la herramienta, el servidor web utilizado fue:

- Apache

5.5 Vistas de la herramienta

En las figuras 5.6, 5.7 y 5.8 se presentan algunas pantallas adicionales con vistas de la herramienta.

inicio evaluación conceptos generales créditos

calentadores solares de agua
para uso doméstico

evaluación

Información sobre los habitantes de la vivienda

Número de personas que habitan en la vivienda:

Información sobre la tecnología convencional utilizada en la actualidad

El Calentador de Agua con que cuenta actualmente es de tipo:

El gas que utiliza el calentador es:

(c) 2008 HIFUSCA.

Figura 5.6 Forma para introducción de datos. Módulo de evaluación.

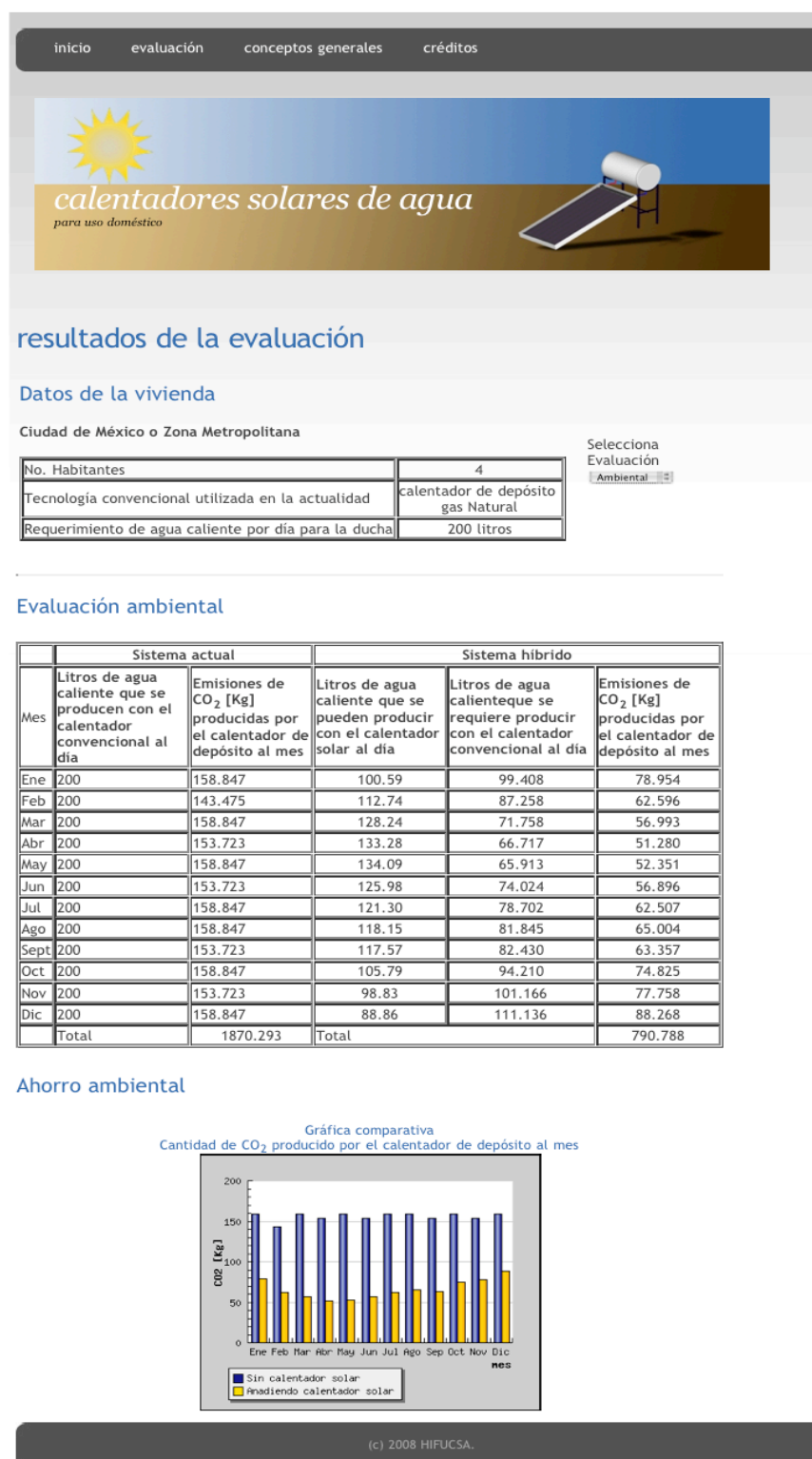


Figura 5.7 Vista de presentación de resultados. Módulo de evaluación. Evaluación ambiental.

inicio evaluación conceptos generales créditos

calentadores solares de agua
para uso doméstico

resultados de la evaluación

Datos de la vivienda

Ciudad de México o Zona Metropolitana

No. Habitantes	4
Tecnología convencional utilizada en la actualidad	calentador de depósito gas Natural
Requerimiento de agua caliente por día para la ducha	200 litros

Selección Evaluación
Económica

Evaluación económica

Precio base del Gas Natural <small>Fuente: SENES RES/240/2008 Desde el 9/74 se mantendrá constante por 3 años. Línea de tendencia en el incremento para el resto de vida del proyecto.</small>	\$8.39 USD/GJ
Inversión Inicial Costo promedio del Calentador Solar 2m ² más instalación más IVA (15%) <small>Mayo 2008</small>	\$5000.00 M.N.

Costos Anuales de Gas (pesos)

Sistema	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Total
Sin CSA	5804.84	6006.53	6006.53	7112.99	7287.15	7426.27	7542.13	7641.42	7728.31	7805.54	70361.71
Añadiendo CSA	2636.72	2719.35	2719.35	3188.93	3262.20	3320.78	3369.60	3411.46	3448.09	3480.67	31557.14

Ahorro Anual (pesos)

Ahorro	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Total
	3168.12	3287.19	3287.19	3924.06	4024.95	4105.49	4172.53	4229.97	4280.21	4324.87	38804.57

Ahorro económico

Gráfica comparativa
Costo del gas Natural, generado por el uso de calentador de depósito al año

Año	Sin calentador solar	Añadiendo calentador solar
1	5804.84	2636.72
2	6006.53	2719.35
3	6006.53	2719.35
4	7112.99	3188.93
5	7287.15	3262.20
6	7426.27	3320.78
7	7542.13	3369.60
8	7641.42	3411.46
9	7728.31	3448.09
10	7805.54	3480.67

Evaluación Económica de la adquisición de un calentador solar

Métodos contables

Tiempo de Recuperación de la Inversión	1.56 años
<small>Tiempo Simple de Recuperación</small>	
Rendimiento de la Inversión	7.76
<small>ROI</small>	

Métodos financieros

Valor Presente Neto	13658.61
<small>PMVA=15 %</small>	
Tasa Interna de Retorno	67.49 %

(c) 2008 HIFUCSA.

Figura 5.8 Vista de presentación de resultados. Módulo de evaluación. Evaluación económica.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez desarrollada la metodología en los capítulos 3 y 4 se obtuvieron los parámetros técnicos de referencia para determinar los ahorros energético, ambiental y económico, que permiten ilustrar la conveniencia del utilizar Calentadores Solares de Agua para uso residencial.

Para obtener los resultados apropiados evaluamos diversos casos de los cuales seleccionamos los más representativos que existen en la zona metropolitana de la Ciudad de México, mismos que han servido para ilustrar dichos resultados.

El caso 1 se refiere a una casa habitación donde viven dos personas quienes usan un calentador convencional de depósito para el calentamiento de agua para ducha, el cual utiliza como combustible gas natural. En este caso se sugiere acoplar al sistema de calentamiento de agua, un calentador solar con una superficie de colección de 2 m².

El caso 2 toma como ejemplo una casa habitada por cuatro personas quienes, al igual que en el caso 1, utilizan un calentador convencional de depósito para el calentamiento de agua para ducha que funciona a base de gas natural. Para este caso también se sugiere acoplar al sistema convencional, un calentador solar con 2 m² de superficie de colección.

En la tabla 6.1 se muestran los casos de estudio seleccionados.

Tabla 6.1 Casos de estudio seleccionados.

Caso 1	Caso 2
Habitantes: 2 personas	Habitantes: 4 personas
Tipo de calentador convencional: depósito	Tipo de calentador convencional: depósito
Eficiencia térmica del calentador convencional: 50%	Eficiencia térmica del calentador convencional: 50%
Combustible: Gas Natural	Combustible: Gas Natural
Superficie de colección: 2 m ²	Superficie de colección: 2 m ²
Consumo de agua diaria por persona para la ducha: 50 litros	Consumo de agua diaria por persona para la ducha: 50 litros

Para obtener los resultados se utilizó la herramienta interactiva descrita en el capítulo 5, la cual corresponde a la aplicación computacional de la metodología desarrollada en los capítulos 3 y 4. A continuación se comentan dichos resultados:

6.1 Análisis técnico

Irradiancia solar global

La irradiancia solar global promedio que se presenta para cada mes del año de operación de un calentador solar de agua se muestra en la figura 6.1, la cual es independiente de los casos estudiados. Observamos que para el mes de enero se registra un valor de 415.15 W/m^2 , incrementándose así hasta un máximo de 530.81 W/m^2 para el mes de mayo, a partir del cual disminuye hasta quedar en un valor de 374.75 W/m^2 correspondiente al mes de diciembre. La gráfica muestra que para los meses de marzo a junio se tiene la mayor cantidad de irradiancia solar global aportada al calentador solar.

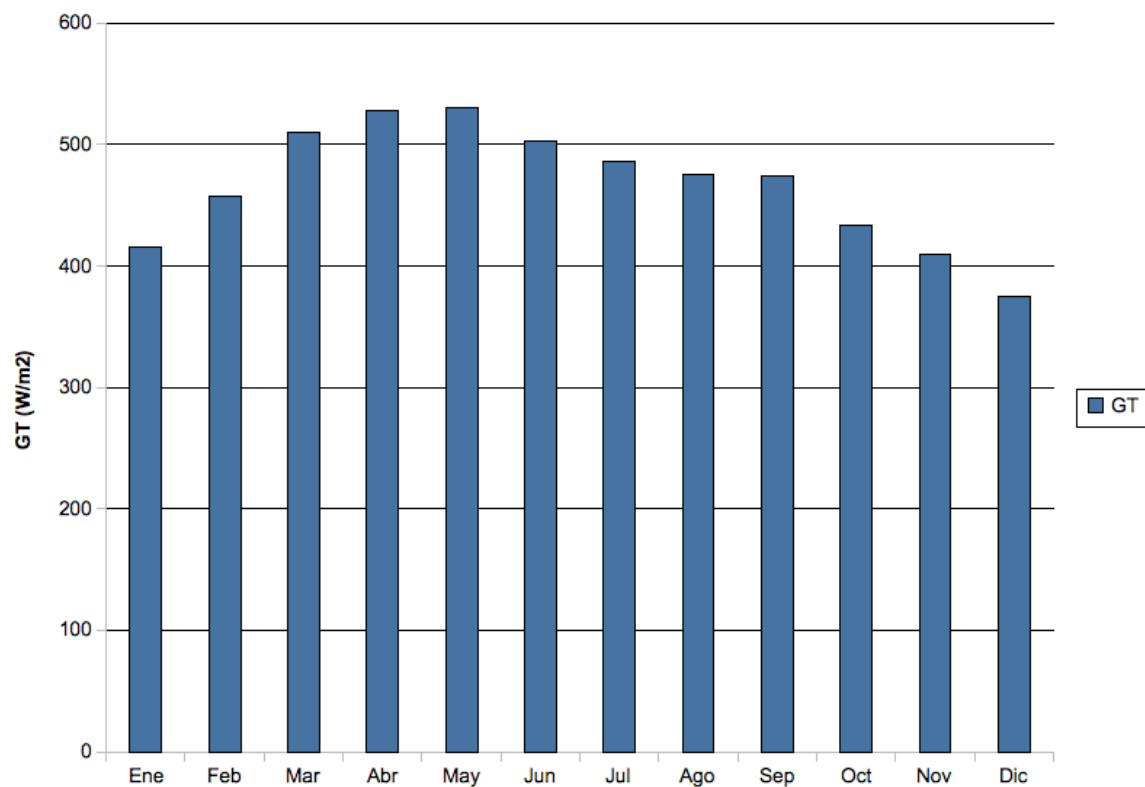


Figura 6.1 Irradiación solar global promedio suministrada para cada mes del año en la zona metropolitana de la ciudad de México.

Eficiencia térmica

Los resultados del cálculo de la eficiencia térmica del calentador solar se muestran en la figura 6.2 en barras de color amarillo, donde se observa que para el mes de enero la eficiencia térmica del calentador solar presenta un valor de 0.44. Debido a que dicha eficiencia depende del valor de la irradiancia solar global promedio, en el mes de mayo se alcanza el valor máximo de 0.46, disminuyendo hasta un valor de 0.43 para el mes de diciembre. Asimismo, en color azul se observan los valores de la eficiencia térmica del calentador convencional, que en este caso se supone un valor constante de 50%, debido al tiempo de vida del mismo.

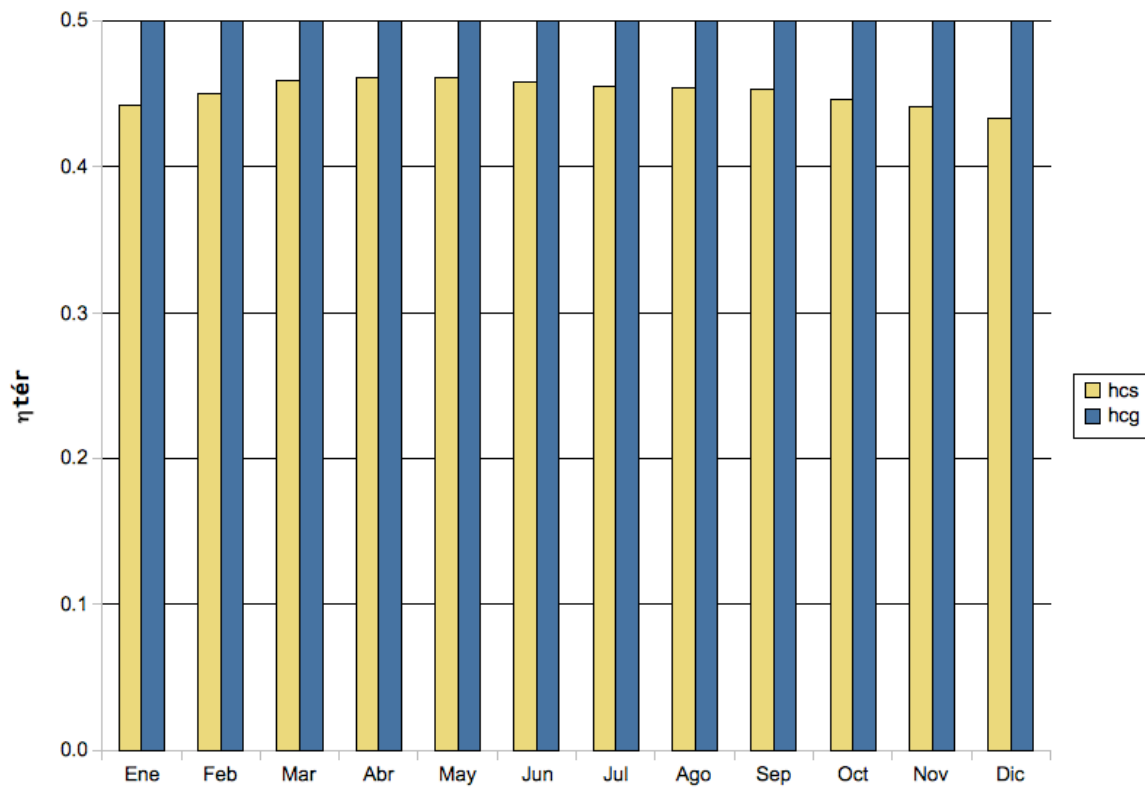


Figura 6.2 Eficiencia térmica del CSA y convencional.

Volumen producido de agua caliente al día

Caso 1.

En la figura 6.3 y en barras de color amarillo se muestra el volumen de agua caliente que puede producir el CSA diariamente para cada mes del año, el cual se compara con el volumen requerido por la totalidad de integrantes de la familia mensualmente (barras de color azul). Se observa que para el mes de enero el CSA satisface completamente este requerimiento, ya que se tiene un valor de 100.6 litros en comparación con los 100 litros del requerimiento diario y así sucesivamente hasta el mes de octubre. Los únicos meses en que es necesario un calentamiento adicional de agua con calentador convencional son en noviembre y diciembre, ya que el CSA sólo se produce la cantidad de 98.8 y 88.9 litros, respectivamente.

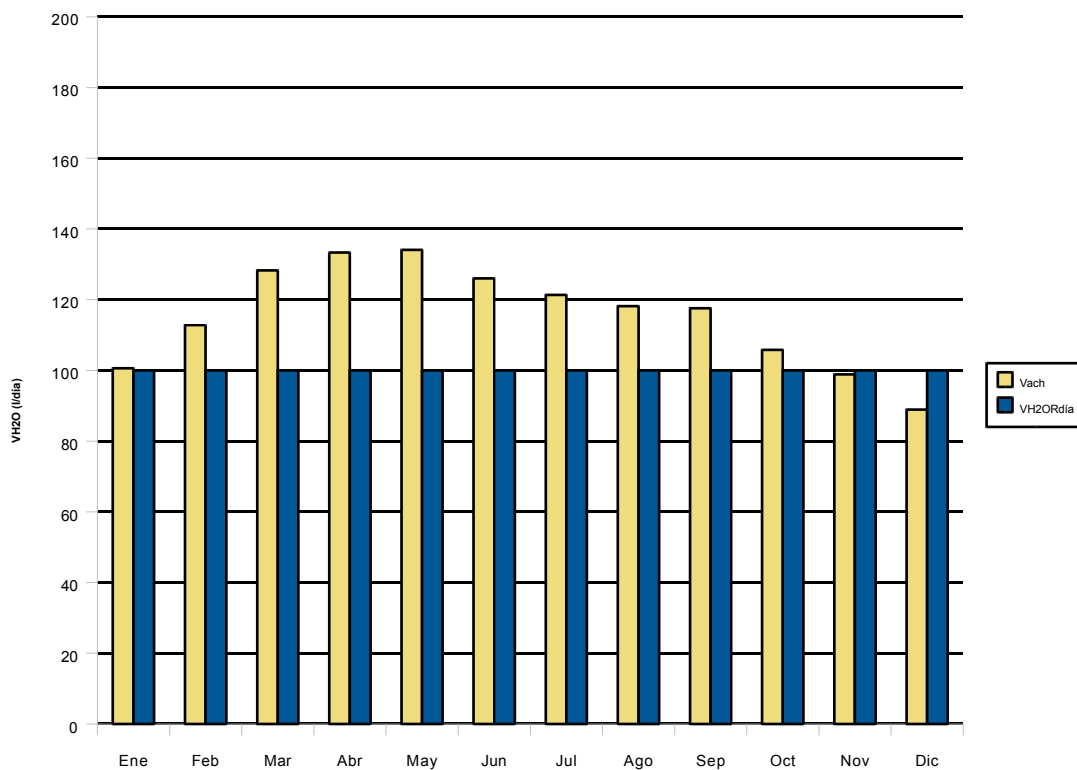


Figura 6.3 Caso 1. volumen producido de agua caliente al día por el CSA y requerido por familia al día y por mes.

Caso 2.

En la figura 6.4, igual que en el caso 1, se muestra el volumen de agua caliente que puede producir el CSA diariamente para cada mes del año, el cual se compara nuevamente con el volumen requerido por la totalidad de integrantes de la familia para cada mes. Se observa que para todos los meses se requiere calentamiento adicional de agua con calentador convencional, debido al requerimiento diario que para este caso es de 200 litros y la superficie de colección del CSA es de 2 m².

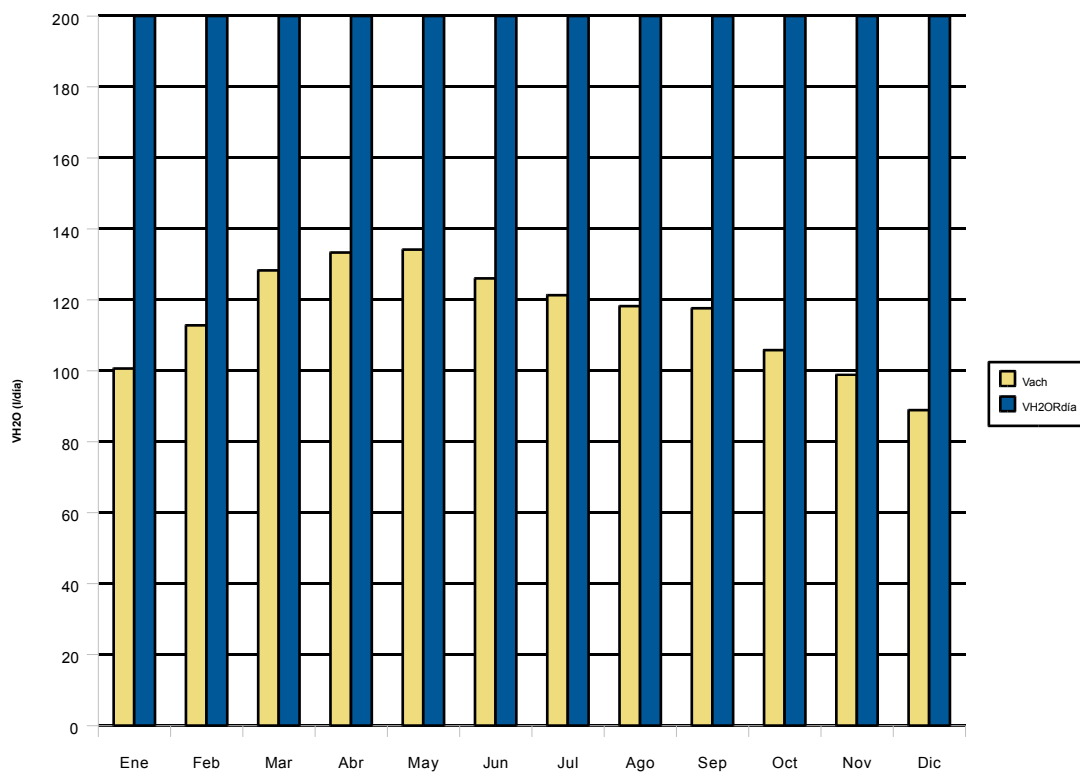


Figura 6.4 Caso 2. Volumen producido de agua caliente al día por el CSA y requerido por familia al día y por mes.

Volumen del combustible consumido en un mes

Caso 1.

La figura 6.5 muestra (en barras de color amarillo) el volumen del combustible quemado (gas natural) para producir el requerimiento adicional de agua caliente al mes, utilizando en este caso un sistema híbrido de CSA acoplado a un calentador convencional. Observamos que los únicos meses en los que se requiere quemar combustible fósil con el calentador convencional son en noviembre y diciembre, pero en pequeñas cantidades, las cuales son de 0.44 y 4.31 m³, respectivamente. A manera de comparación, las barras de color azul muestran las cantidades de combustible fósil que se quemaría si sólo se utilizara un calentador convencional para el calentamiento de agua, encontrando así valores cercanos a 40 m³ en el consumo del gas natural, con lo cual se puede observar el gran ahorro en el consumo de gas natural para este fin, utilizando un CSA.

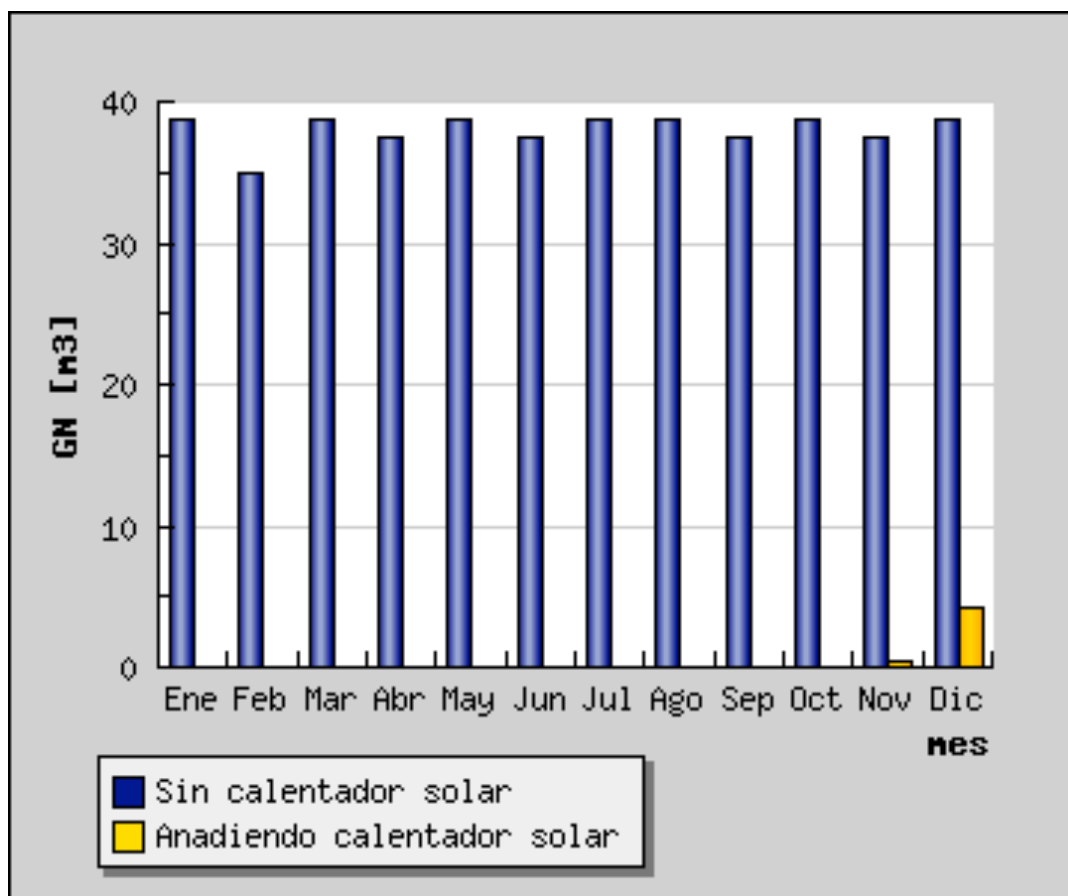


Figura 6.5 Caso 1. Volumen del combustible consumido en un mes (gas natural).

Caso 2.

De igual forma que en el caso 1, la figura 6.6 muestra el volumen del combustible quemado (gas natural) para producir el requerimiento adicional de agua caliente al mes. Observándose así que a pesar de la utilización de un CSA, para todos los meses se requiere quemar combustible fósil con el calentador convencional. Al realizar una comparación, para el mes de enero se tiene un consumo de gas natural de 38.48 m^3 (con CSA) y de 77.4 m^3 (sin CSA), lográndose el mayor ahorro el mes de mayo con 25.5 y 77.4 m^3 , respectivamente. En este caso, las cantidades de combustible fósil que se quemaría si sólo se utilizara un calentador convencional para el calentamiento de agua, serían cercanas a 80 m^3 en el consumo del gas natural, observando como consiguiente que con solo utilizar 2 m^2 de superficie de colección se puede obtener un gran ahorro del consumo del combustible fósil para este fin.

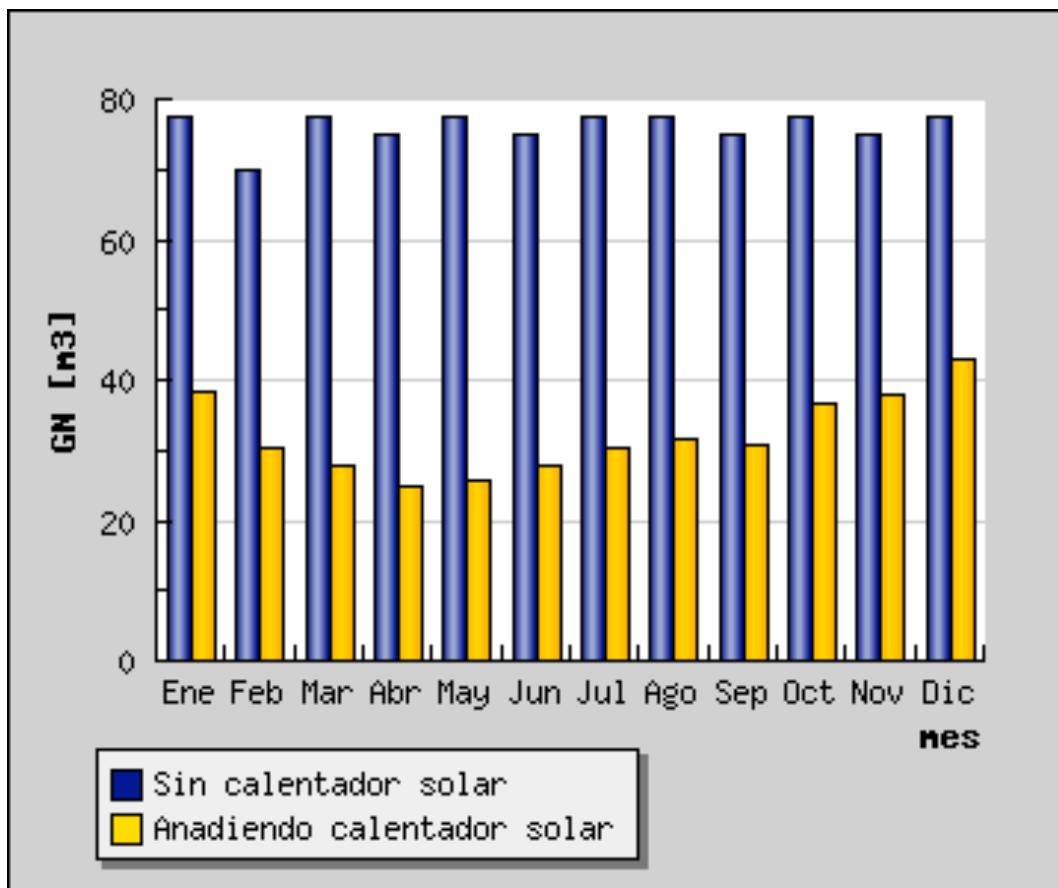


Figura 6.6 Caso 2. Volumen del combustible consumido en un mes (gas natural).

Emisiones generadas por el calentamiento de agua con combustibles fósiles.

Caso 1.

En la figura 6.7 y en barras de color amarillo se muestra la cantidad de emisiones de CO₂ generadas por el calentamiento de agua con combustibles fósiles (gas natural), para producir el requerimiento adicional de agua caliente al mes, utilizando en este caso un sistema híbrido de CSA acoplado a un calentador convencional. Los únicos meses que se tendrían generación de emisiones por el funcionamiento del calentador convencional son, de igual forma, noviembre y diciembre con valores de 0.9 y 8.8 kg de CO₂, respectivamente. A manera de comparación, las barras de color azul muestran las cantidades de emisiones de CO₂ generadas por el combustible fósil si sólo se utilizara un calentador convencional para el calentamiento de agua, obteniendo valores cercanos de hasta 80 kg CO₂ al mes. Con dichos resultados, observamos entonces la gran disminución de emisiones de CO₂ generadas al ambiente utilizando un CSA.

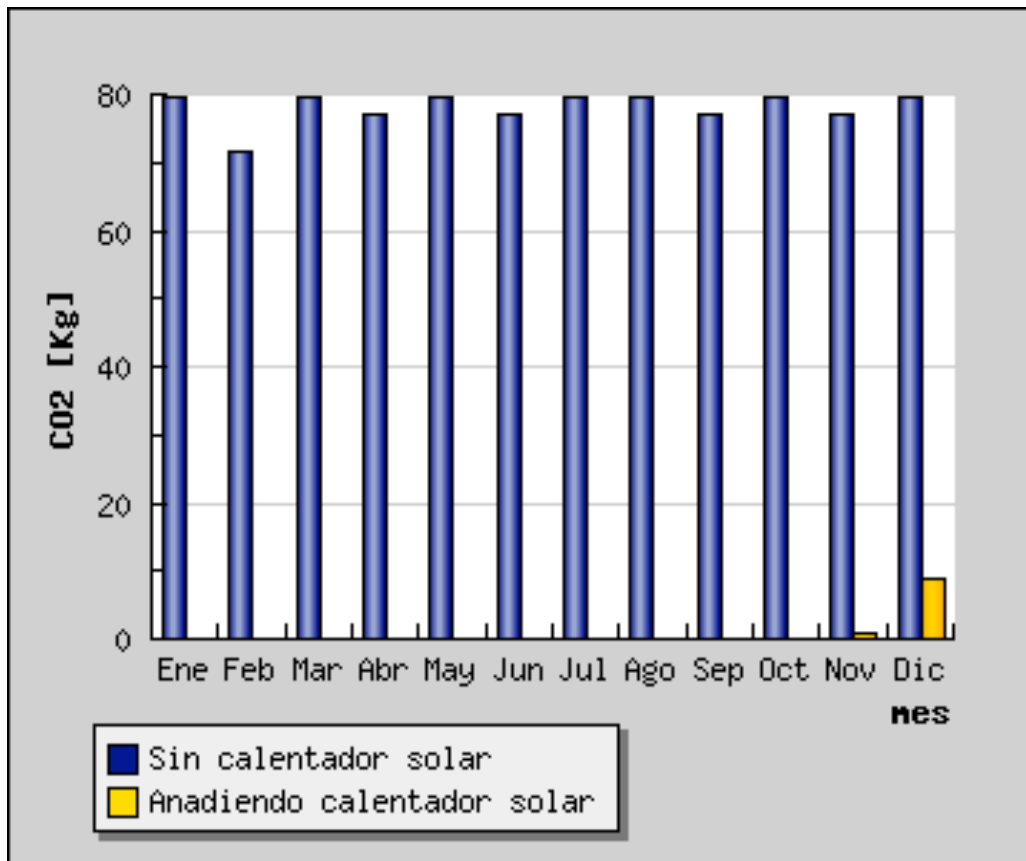


Figura 6.7 Caso 1. Emisiones generadas por el calentamiento de agua con combustibles fósiles (gas natural).

Caso 2.

De manera similar al caso 1, la figura 6.8 muestra la cantidad de emisiones de CO₂ generadas por el calentamiento de agua con combustibles fósiles (gas natural), para producir el requerimiento adicional de agua caliente al mes. En este caso y como se comentó anteriormente, todos los meses es necesario quemar combustible fósil usando el calentador convencional; por consiguiente, los valores de las emisiones generadas de CO₂ son de 78.95 kg para enero, 52.35 kg para mayo y 88.27 kg para diciembre, en comparación con los valores cercanos a 160 kg de CO₂ generados al ambiente cada mes, si se tratara exclusivamente de utilizar el calentador convencional.

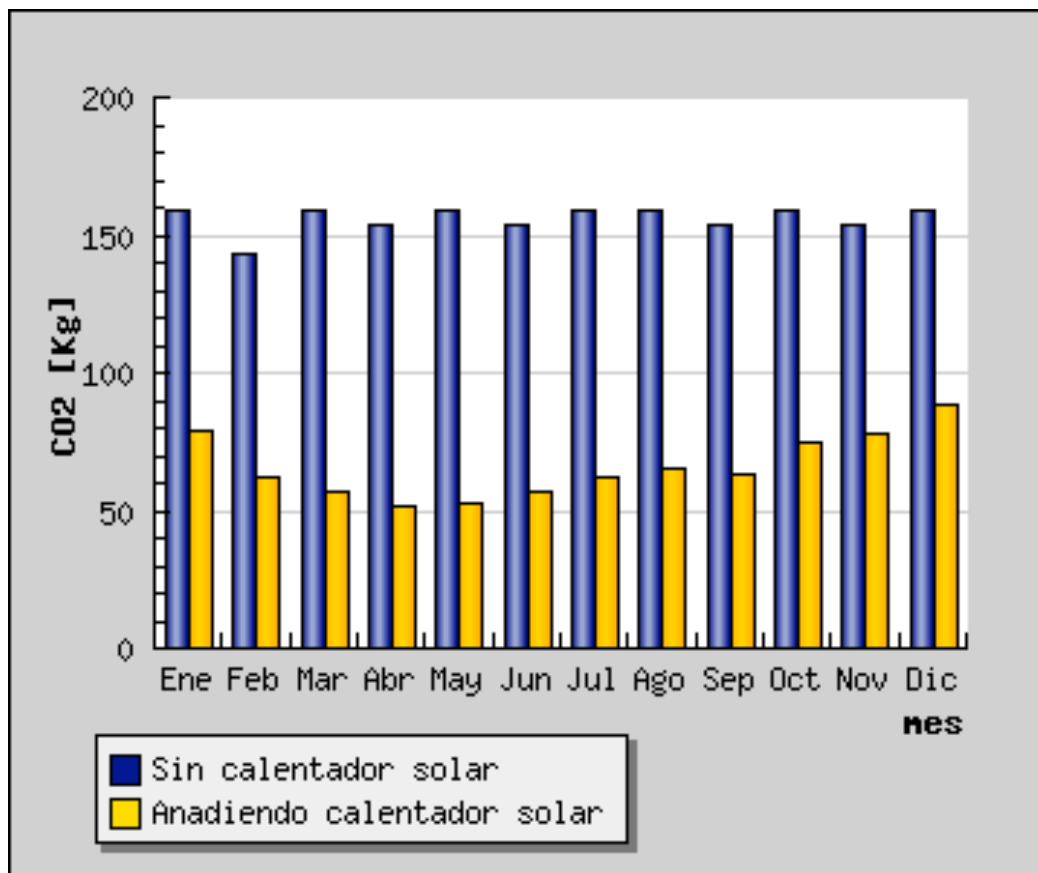


Figura 6.8 Caso 2. Emisiones generadas por el calentamiento de agua con combustibles fósiles (gas natural).

En la tabla 6.2 se han agrupado las situaciones “con proyecto” y “sin proyecto”, en las cuales se comparan los casos de estudio 1 y 2 de los resultados globales más importantes, de esta forma se tiene lo siguiente:

- Para ambos casos, el volumen producido de agua caliente al día con el CSA es el mismo, ya que es la misma superficie de colección (2m^2). Lo que varía es el requerimiento de consumo de agua caliente debido al número de personas que habitan la vivienda, caso 1: 100 [l/ día], y caso 2: 200 [l/día].
- En los dos casos se producen ahorros significativos en el volumen de gas natural consumido al año, en el caso 1: 450.94 m^3 y en el caso 2: 526.03 m^3 .
- Se observa una reducción importante en la cantidad de emisiones generadas al ambiente de CO_2 , caso 1: 925.41 kg y caso 2: $1,079.5\text{ kg}$.

Tabla 6.2 Comparación de situaciones “con proyecto” y “sin proyecto”.

Caso	1		2	
Situación	con proyecto	sin proyecto	con proyecto	sin proyecto
Requerimiento de consumo de agua caliente [l/día]	100		200	
Volumen de gas consumido al Año GN [m^3]	4.75	455.68	385.34	911.37
Emisiones generadas CO_2 [Kg]	9.74	935.15	790.79	1870.29

6.2 Análisis económico

Para el análisis económico se utilizó un enfoque de costos reducidos, es decir, donde los ahorros se consideran como ingresos. Asimismo, se supone que el desembolso o inversión inicial será “Pago de contado”, estableciendo un periodo de 10 años como el tiempo de vida del proyecto.

Ahorro económico

Caso 1.

En la figura 6.9 se muestran, en barras de color amarillo, los costos anuales de combustible fósil que la familia tendría que desembolsar durante los 10 años de vida del proyecto, si decidiera acoplar un calentador solar de agua a un calentador convencional. Por su parte, en barras de color azul se muestran los costos anuales de combustible fósil que la familia tendría que desembolsar si continúa usando únicamente su calentador convencional.

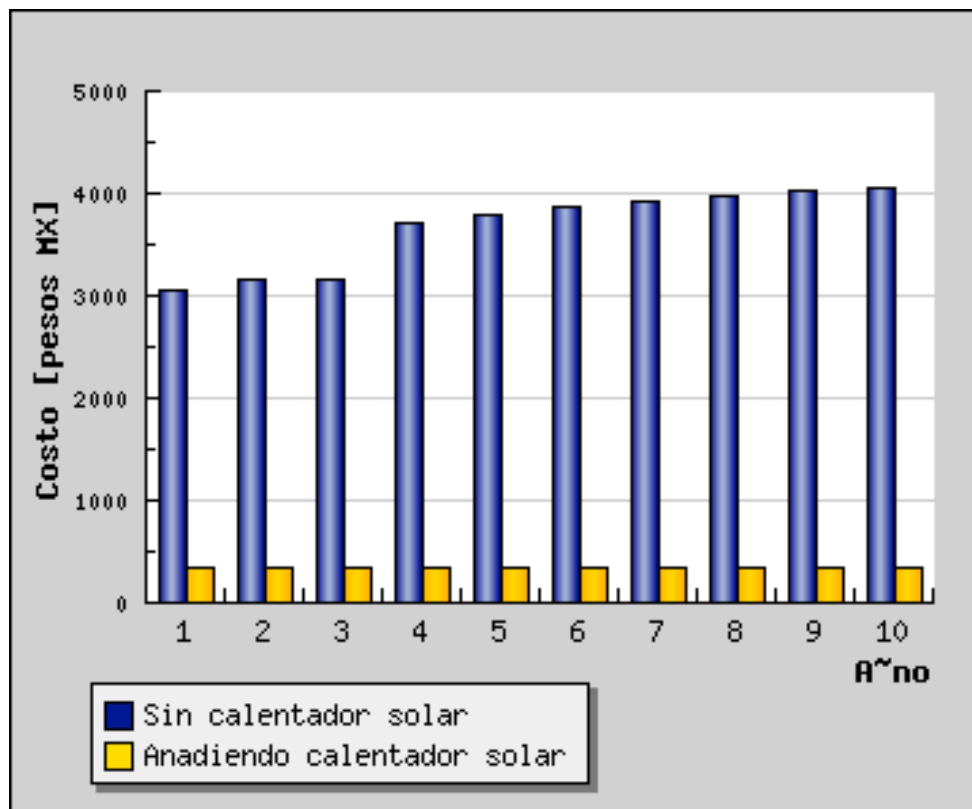


Figura 6.9 Caso 1. Ahorros anuales.

Se observa entonces que para el primer año, el costo de combustible fósil utilizando sólo calentador convencional sería de \$3058 pesos, mientras que acoplando un calentador solar de agua al mismo, éstos costos se reducirían a \$341 pesos teniendo un ahorro de \$2717 pesos.

En la tabla 6.3 se muestran el costo y ahorros total para los 10 años evaluados, tanto en situación con proyecto como sin él.

Tabla 6.3 Caso 1. Comparación de situaciones “con proyecto” y “sin proyecto”.

Situación	Con proyecto	Sin proyecto
Costo total	\$36,737.49	\$3,466.47
Ahorro total	\$33,271.03	

Cantidades mostradas en pesos.

Caso 2.

Al igual que en el caso 1, en la figura 6.10 se muestran los costos que la familia tendrá que desembolsar por combustible fósil para ambas situaciones, en barras de color amarillo se muestra aquella situación en la cual la familia decide acoplar un CSA a su calentador convencional, y en barras azules la situación en la cual sólo utiliza calentador convencional.

Para este caso, se observa que en el primer año la reducción en el costo va de \$5805 pesos en la situación sin proyecto a \$2637 pesos para la situación con proyecto.

En la tabla 6.4 se muestra el costo y ahorro total para los 10 años evaluados en ambas situaciones.

Tabla 6.4 Caso 2. Comparación de situaciones “con proyecto” y “sin proyecto”.

Situación	Con proyecto	Sin proyecto
Costo total	\$70,361.71	\$31,557.14
Ahorro total	\$38,804.57	

Cantidades mostradas en pesos

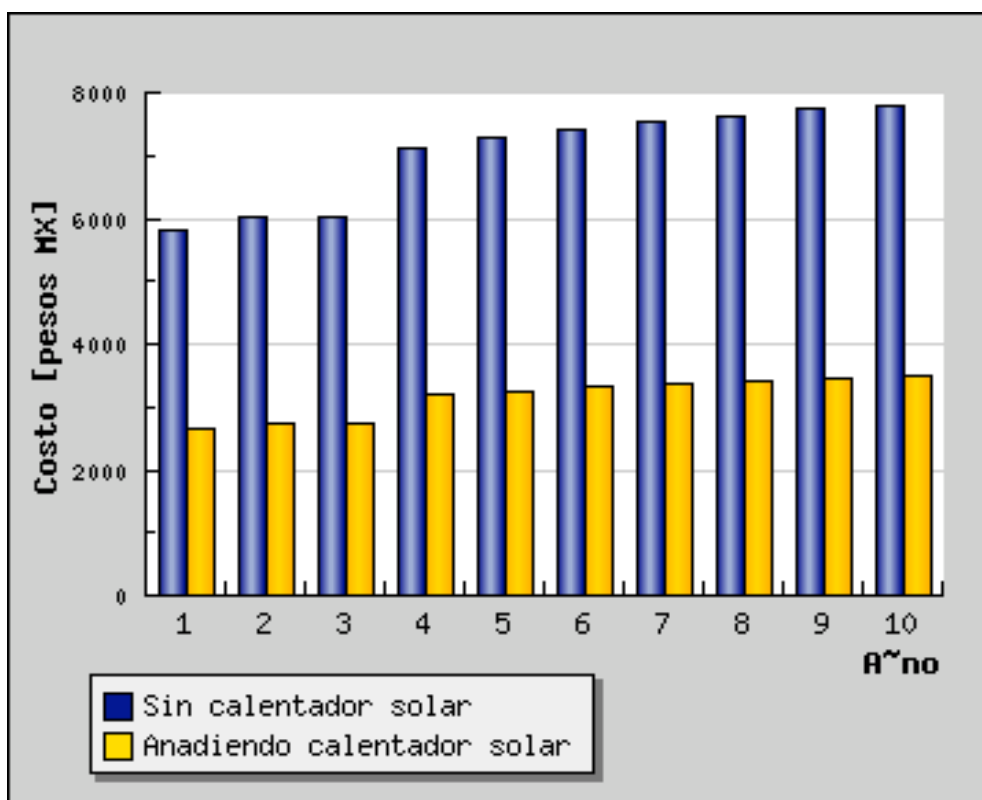


Figura 6.10 Caso 2. Ahorros anuales.

Evaluación económica

Para evaluar económicamente el proyecto se aplicaron cuatro métodos de análisis. Para el análisis contable, en el cual no se toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, los métodos utilizados fueron: Tasa de Retorno (TR) y Tasa de Rendimiento de la Inversión (ROI). Mientras que los valores financieros obtenidos fueron: Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales indican la rentabilidad del proyecto.

Dado que el simple hecho de acoplar un CSA a uno convencional no genera ingresos como tales, hemos utilizado un enfoque de costos reducidos; es decir, considerando el ahorro como ingreso, encontramos lo siguiente:

Caso 1.

El TR es de 1.81 años, lo que implica que en este tiempo la familia habrá ahorrado por costo de combustible fósil una cantidad equivalente a la misma que tuvo que desembolsar al inicio del proyecto, mientras que para el caso de la ROI tenemos un valor de 6.65 lo que implica que a nivel contable por cada peso invertido en el proyecto, la familia tendrá un ahorro de 6.65 pesos.

Caso 2.

En este caso el TR es de 1.56 años mientras que la ROI tiene un valor de 7.76, lo cual implica que la familia tardará en recuperar la inversión en menor tiempo que en el caso 1 y obtendrá mayores beneficios.

En la tabla 6.5 se muestra un resumen de los resultados de la aplicación de los métodos de evaluación económica.

Tabla 6.5 Evaluación económica.

Caso	1	2
TR _{simple} años	1.81	1.56
ROI	6.65	7.76
VPN	\$10,998.11 pesos	\$13,658.61 pesos
TIR	58.18%	67.49%

En ambos casos se observa que el VPN es superior a cero, lo que indica que el proyecto es viable; asimismo, siendo la TIR superior a la TMAR o tasa mínima aceptable, también nos da un indicador de la conveniencia económica para la adquisición de un CSA para uso residencial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo principal de este trabajo, el cual fue desarrollar una metodología de evaluación técnica y económica que permitiera determinar cuantitativamente los beneficios económicos y ambientales que, podría obtener una familia que habite en la Ciudad de México o su zona metropolitana, si decidiera acoplar un calentador solar de agua a uno convencional en su vivienda, exclusivamente para el calentamiento de agua para la ducha, y de acuerdo al análisis de los resultados generados mediante la utilización de la herramienta HIFUCSA, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La metodología desarrollada permite obtener: a) un análisis técnico, el cual determina el volumen de combustible consumido para satisfacer la demanda adicional de agua caliente y las emisiones generadas de CO₂ al ambiente, y b) un análisis económico, el cual determina la rentabilidad y viabilidad económica en el uso de la tecnología solar para el calentamiento de agua para la ducha. Por ello consideramos que en este sentido se cumplen los objetivos particulares de la presente tesis.
- Mediante la aplicación de dicha metodología y empleando la herramienta HIFUCSA, se pueden observar y visualizar en forma práctica y sencilla los parámetros importantes en este tipo de tecnologías, así como las ventajas y beneficios que se obtienen al instalar un calentador solar acoplado a uno convencional de gas. En este sentido se cumple con el objetivo de estimar los beneficios energéticos, económicos y ambientales que nos planteamos.

Conclusiones del análisis técnico

- Los casos analizados muestran que los ahorros son mayores para las familias que cuentan con un calentador solar de depósito; sin embargo, dichas familias gastan más en combustible que aquellas que cuentan con un calentador convencional instantáneo.
- Las familias que utilizan un calentador instantáneo con Gas LP, consumen menos combustibles fósiles.

- El mayor ahorro energético, al acoplar un CSA, lo obtienen las familias que utilizan Gas LP.
- La reducción de emisiones generadas al medio ambiente es mayor cuando se utiliza Gas Natural en lugar de Gas LP.
- A nivel técnico, es conveniente que familias con más de cinco integrantes utilicen utilizar 2 CSA, ya que obtienen un considerable ahorro energético y una reducción en las emisiones de CO₂ al ambiente.

Conclusiones del análisis económico

- Las técnicas de evaluación de proyectos, utilizadas en todos los casos, arrojaron valores favorables, por lo que se concluye que es económicamente factible el proyecto.
- La recuperación de la inversión es menor cuando la familia cuenta con calentador de depósito y utiliza Gas Natural.
- La recuperación de la inversión es mayor cuando la familia cuenta con un calentador Instantáneo y utiliza Gas LP.
- El mejor rendimiento de la inversión se obtiene con un calentador de depósito y empleando Gas Natural.
- El VPN es menor para el caso que emplea un calentador instantáneo con Gas LP; mientras que es mayor para el caso que usa un calentador de depósito y Gas Natural.
- En el caso de la TIR, muestra un valor mayor para el calentador de depósito con Gas Natural; mientras que para el caso calentador instantáneo con Gas LP se reduce significativamente, sin embargo en ningún caso la TIR es menor que la TMAR, por lo que el proyecto sigue siendo factible.
- Los valores arrojados por las técnicas utilizadas muestran que el caso en el cual sería más conveniente tomar la decisión de acoplar un CSA a un calentador convencional, es aquella en que la familia cuenta con la configuración Calentador de Depósito y Gas Natural, seguida la configuración Calentador de Depósito y Gas LP.
- Para el caso de familias mayores de 5 personas, al acoplar un segundo CSA, la inversión inicial se duplica, pero también es el caso de los ahorros, por lo que los valores de la TR, ROI y TIR permanecen constantes.

En resumen, podemos concluir que utilizar un CSA para uso residencial puede considerarse como una buena opción para obtener beneficios tanto en el ahorro energético como a nivel ambiental, así como una disminución en el gasto por combustible para las familias que decidan acoplarlo a su calentador convencional para calentar agua para la ducha, independientemente del sistema convencional con que se cuente.

RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS FUTUROS

- Debido a que una de las principales barreras para el uso masivo de los CSA en el sector residencial es precisamente el alto costo de la inversión inicial, sería conveniente incluir para el análisis económico alguna opción de financiamiento como el crédito FONACOT o el pago con tarjeta de crédito.
- Para la herramienta interactiva se podría incluir una sección avanzada que permita manipular más variables con el fin de realizar diferentes análisis, variando la eficiencia de los calentadores y otras opciones, como pueden ser por tipo de habitantes (niño, joven, adulto).
- Se recomienda incluir el consumo de agua caliente en general, para tener un parámetro que pueda ser comparable con datos reales y no sobre estimaciones de consumo.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE CONSULTA

1.

[1] Garduño, René, *¿Qué es el efecto invernadero?*, INE 2004, Cambio Climático: Una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México.

[2] Sistema Integral de Monitoreo Ambiental. *Efecto Invernadero*, [en línea], Gobierno del Estado de Nuevo León. <http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima_inverna> [Consulta: 15 de febrero de 2008]

[3] Houghton et al, *Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el 2º informe de evaluación del IPCC*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Documento Técnico del IPCC, febrero 1997.

[4] Overpeck, J., et al. *Una paleoperspectiva del calentamiento global*. Programa de Paleoclimatología de la NOAA [en línea], <<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/home.html>> [Consulta: 20 de diciembre de 2007].

[5] Magaña Rueda, Víctor O., *Cambio climático global: Comprender el problema*. [en línea], INE 2004, Cambio Climático: Una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México. [Consulta: 12 de diciembre de 2008].

[6] Overpeck, J., et al. *Una paleoperspectiva del calentamiento global*. Programa de Paleoclimatología de la NOAA [en línea], <<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/holocene.html>> [Consulta: 20 de diciembre de 2007].

[7] Overpeck, J., et al. *Una paleoperspectiva del calentamiento global*. Programa de Paleoclimatología de la NOAA [en línea], <<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/interglacial.html>> [Consulta: 20 de diciembre de 2007].

[8] IPCC Tercer informe de evaluación Cambio Climático 2001, la base científica. Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático.

[9] IPCC Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático, [en línea] <<http://www.ipcc.ch>>, 2001.

- [10] ¿Qué es el calentamiento global?,
<http://sepiensa.org.mx/contenidos/2005/1_calenta/calentamiento_1.htm>
[Consulta: 1 de febrero de 2008].
- [11] Cambio Climático Global, [en línea],
<<http://www.cambioclimaticoglobal.com/cambios1.html>>.
- [12] IPCC Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. 4° Informe de 2007, evaluación. Resumen para responsables de políticas, noviembre 2007.
- [13] Kyoto Protocol. *Status of Ratification*, diciembre 2007.
- [14] Tudela, Fernando, *México y la participación de países en desarrollo en el régimen climático*.
- [15] SEMARNAT 2008. Reporte sobre las acciones de México de mitigación y adaptación ante el CCG. Subsecretaría de planeación y política ambiental, México, enero 2008.
- [16] Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.

2.

- [1] Balance Nacional de Energía, Secretaría de Energía (SENER), México, 2006.
- [2] Efecto de los Componentes de Gas Licuado de Petróleo en la Acumulación de ozono en la Atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Estudio IMP, 12431-CG-INE; PEMEX Gas y Petroquímica.
- [3] R. Almanza, F. Muñoz, Ingeniería de la Energía Solar, El Colegio Nacional, México 1994.
- [4] <http://www.conae.gob.mx>
- [5] OECD, International Energy Agency (2006). Barriers to Technology Diffusion: The Case of Solar Termal Technologies. Paris.
- [6] Pilatowsky, et. al. La Utilización de la Energía Termosolar en el Sector Industrial, México, 2005.
- [7] Balance Nacional de Energía, Secretaría de Energía (SENER), México, 2005.

[8] Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía
<http://www.sie.sener.gob.mx>.

[9] SENER, <<http://www.sener.gob.mx/wb2/SenerNva/ibEsh>> [Consulta: 11 de enero de 2008]

[10] Alternativas Financieras para la Promoción del Uso de Calentadores Solares de Agua (CSA) en el Sector Doméstico Mexicano, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH Cooperación técnica alemana, CONAE.

[11] Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-008-AMBT-2005.

[12] Energía solar- rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua- métodos de prueba y etiquetado, NMX-ES-001-NORMEX-2005.

[13] Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (Procalsol), Conae/ ANES/ GTZ, 2007.

[14] Prospectiva del mercado de gas licuado de petróleo, 2007-2016, SENER.

[15] Prospectiva del mercado de gas natural, 2007-2016, SENER.

3.

[1] Ciencia de la Administración Aplicada para Gerentes y Líderes Gerenciales, *Toma de decisiones estratégicas acertadas*. [en línea], Hossein Arsham. <<http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/Business-stat/opre/Spanish.htm>> [Consulta: 1 de enero de 2008]

[2] Sapag Chain Nassir, Sapag Chain Reinaldo, *Preparación y Evaluación de Proyectos*, Ed. McGraw- Hill, 3a. ed., Colombia 1995.

[3] *Conceptos Introductorios de Proyectos de Inversión*. [en línea], Sapag Chain Nassir. <<http://www.nassirsapag.cl/art02.htm>> [Consulta: 15 de abril de 2008]

[4] Baca Urbina Gabriel, *Evaluación de Proyectos. Análisis y Administración del Riesgo*, Ed. McGraw-Hill, 2a. ed., México, 1993.

[5] Evaluación de Proyectos de Inversión. Círculo de Actualización Profesional. ITESM. [en línea], Alberto Calva, <www.circulotec.com> Mayo 2006.

[6] Diplomado en el Ciclo de Vida de los Proyectos de Inversión, Nacional Financiera, 1a. ed., México, 1998.

4.

[1] Norma Oficial Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005. Energía solar -rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua- métodos de prueba y etiquetado.

[2] Norma Oficial Mexicana NOM-003-ENER-2000. Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial. Límites, método de prueba y etiquetado. Secretaría de Energía. 2000.

[3] Estrada-Cajigal Ramírez, V., Almanza Salgado R., Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal, en la República Mexicana, Serie Investigación y desarrollo, Instituto de Ingeniería, UNAM, 2005.

[4] Estrada-Cajigal Ramírez, V., Almanza Salgado R., Programa RADII para calcular: irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal, en la República Mexicana, Serie Investigación y desarrollo, Instituto de Ingeniería, UNAM, 2005.

[5] <http://www.modulosolar.com.mx/tec/infoaxol.html>

[6] Ramos Niembro Gaudencio, Patiño Flores Alejandro, Dimensionamiento, selección y beneficios del uso de calentadores solares de agua en el sector doméstico. La Revista Solar No. 57, ANES, 2006.

[7] Datos proporcionados a consumidores de Gas Natural.

[8] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 2, Energy, Intergovernmental Panel On Climate Change, 2006.

[9] Resolución SENER RES/024/2008. Resolución por la que se establece la metodología del precio máximo del gas licuado de petróleo objeto de venta de primera mano. Enero 2008.

[10] Disposición DIS-GAS-001-1996. Directiva sobre la Determinación de Precios y Tarifas para las Actividades Reguladas en Materia de Gas Natural.

[11] Resolución RES/046/2005. Resolución por la que se modifican las metodologías para la determinación del precio máximo del Gas Natural objeto de venta de primera mano, a que se refiere la disposición DIS-GAS-001-1996.

[12] Ramos, G y Patiño, A., Dimensionamiento, selección y beneficios del uso de calentadores de agua en el sector doméstico. La Revista Solar, ANES.

[13] Promoción de Energías Renovables. Alternativas financieras para la promoción del uso de CSA en el sector doméstico mexicano, CONAE.

5.

[1] Peña, Adriana. *Usuarios de Internet en México 2007, uso de nuevas tecnologías*. Asociación Mexicana de Internet, AMIPCI, A. C. [en línea], <<http://www.amipci.org.mx/estudios/>> [Consulta: 27 de agosto de 2008].