



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE
ESCENARIOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL
SECTOR RESIDENCIAL DE MÉXICO 2030

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

ENERGÍA – ECONOMÍA DE LA ENERGÍA

P R E S E N T A:

MARIO ALBERTO RIOS FRAUSTRO

TUTOR:

DR. JORGE MARCIAL ISLAS SAMPERIO



Centro de Investigación
en Energía

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Sánchez Juárez Aarón

Secretario: Dr. Islas Samperio Jorge Marcial

Vocal: Dr. Dorantes Rodriguez Ruben José

1^{er}. Suplente: Dr. Manzini Poli Fabio

2^{do}. Suplente: Dr. De la Vega Navarro Angel

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
TEMIXCO, MORELOS, MÉXICO.

TUTOR DE TESIS:

DR. JORGE MARCIAL ISLAS SAMPERIO

FIRMA

Dedicatoria

A mis queridos padres:

Fidel Rios Rios

María del Carmen Fraustro Alvarez

Por su amor, confianza y apoyarme incondicionalmente a seguir adelante en este proyecto de vida.

A mis hermanos:

Daniel Rios Fraustro

Criselda Rios Fraustro

Por su dedicación y logros académicos personales, lo cual me motiva a seguir adelante.

Agradecimientos

Agradezco en especial a mi director de tesis: *Dr. Jorge Marcial Islas Samperio*, por su total apoyo, recursos, tiempo, orientación y enseñanza tanto académica como personal para la elaboración de esta tesis. Así mismo a los demás miembros del jurado: *Dr. Aarón Sánchez Juárez*, *Dr. Ruben José Dorantes Rodríguez*, *Dr. Fabio Manzini Poli* y *Dr. Angel de la Vega Navarro* por su tiempo y apoyo dedicado a la revisión de esta tesis, así como sus valiosos comentarios y sugerencias, que permitieron enriquecer este trabajo.

A Genice K. Grande Acosta por su constante y valioso apoyo técnico y compartir sus conocimientos, para la elaboración y verificación de las hojas de cálculo y las revisiones bibliográficas de esta tesis.

A María de Jesús Pérez Orozco, por su valiosa ayuda en la búsqueda bibliográfica y la elaboración de las hojas de cálculo de esta tesis.

A todos mis profesores que me impartieron materias durante la maestría.

A mis compañeros y amigos del CIE: *Sergio Lugo*, *Edgar Andrade*, *Ricardo Pérez*, *Teresa Ruiz*, *Guadalupe Moreno*, *Eric Siqueiros*, *Francisco Gínez*, *Adriana García*, *Martín Esquivelzeta*, *Rodolfo López*, *Dulce Baeza*, *Rosario Vázquez*, *Laura Vereá*, *Eduardo Venegas*, *Rodrigo Cuevas*, *Oscar Ruiz*, *Iris Santos*, *Rocío Santos* y en especial *Hiram Martínez Lalotht*, por compartir todos esos grandes momentos únicos en la vida.

A la *Universidad Nacional Autónoma de México* y el *Centro de Investigación en Energía*, donde se me brindó la oportunidad y el apoyo para realizar los estudios de maestría.

A la Coordinación de Posgrado de Ingeniería en la UNAM y a la Coordinación de Docencia del CIE-UNAM. A *Cristina Brito* y *Lourdes Araujo*, por el apoyo en los trámites administrativos.

Y finalmente agradecer hoy y siempre a mi familia en Monterrey porque a pesar de no estar presentes físicamente, se que procuran mi bienestar, brindándome toda su confianza y apoyo para la realización de este proyecto de vida.

ÍNDICE GENERAL

Índice General	5
Introducción	8
Resumen	11
Abstract	11
Capítulo 1 - La Energía Solar en el contexto mundial actual	12
1.1 Introducción	12
1.2 La Energía Solar	13
1.3 Tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar	13
1.3.1 Los sistemas fotovoltaicos	14
1.3.1.1 Celdas solares de silicio tipo cristalino y policristalino	15
1.3.1.2 Celdas de película delgada	15
1.3.1.3 Ciclo de Vida de los Sistemas Fotovoltaicos	17
1.3.1.4 Costos de los sistemas fotovoltaicos	19
1.3.1.5 Integración de un sistema fotovoltaico	20
1.3.2 Calentador Solar	21
1.3.2.1 El colector solar plano	22
1.3.2.2 Calentador solar de tubos evacuados	22
1.3.2.3 Ciclo de Vida de los Calentadores Solares	23
1.4 Beneficios ambientales y económicos del uso de la energía solar	24
1.5 El aprovechamiento de la energía solar en el mundo	25
1.5.1 Sistemas Fotovoltaicos	25
1.5.2 Calentadores Solares de Agua	27
1.6 Energía solar en el sector residencial en el mundo	28
1.7 Iniciativas y políticas públicas en el mundo para fomentar el uso de la energía solar	29
1.7.1 Sistemas Fotovoltaicos	29
1.7.2 Calentadores solares	32
Subsidios	32
Capítulo 2 - El consumo energético y la energía solar en sector residencial en México	36
2.1 Introducción	36
2.2 El sector residencial en México	36
2.3 Situación socioeconómica del sector residencial en México	38
2.4 Usos energéticos en el sector residencial en México	39
2.4.1 Gas LP (Gas licuado de petróleo)	41
2.4.2 Gas Natural	41
2.4.3 Electricidad	42
2.5 Prospectiva de la demanda de energía comercial en el sector residencial. Prospectiva 2009-2024	42
2.5.1 Gas LP (Gas licuado de petróleo)	42
2.5.2 Gas Natural	43
2.5.3 Comparación entre precios de gas LP y gas natural	44
2.5.4 Electricidad	45
2.6 Energía solar en el sector residencial en México	45
2.7 Potencial del uso de la energía solar en el sector residencial en México	46
2.8 Programas de energía solar en el sector residencial México	47
2.8.1 Sistemas Fotovoltaicos	47
2.8.1.1 PRONALSOL	47
2.8.1.2 El vecindario Fotovoltaico Valle de las misiones	47
2.8.1.3 Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos, en conexión a la red eléctrica en México ..	48
2.8.1.4 Ahorro de energía eléctrica en viviendas de interés medio; uso de sistemas fotovoltaicos en la ciudad de México	51
2.8.2 Calentadores Solares	51

2.8.2.1 PROCALSOL.....	51
2.8.2.2 Hipotecas Verdes.....	52
2.8.2.3 Propuesta metodológica para el análisis técnico y económico del uso de calentadores solares de agua	53
Capítulo 3 – Políticas públicas, barreras y sistemas de financiamiento actuales para fomentar el uso de la energía solar en el sector residencial nacional	54
3.1 Introducción	54
3.2 Políticas públicas	54
3.3 Políticas públicas del poder ejecutivo	55
3.3.1 Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.....	55
3.3.2 Programa Sectorial de Energía 2007-2012.....	56
3.4 Normas que regulan el uso de la energía solar en el sector residencial	57
3.4.1 Normas para calentadores solares de agua	57
3.4.1.1 Normas Federales.....	57
3.4.1.2 Normas Locales.....	58
3.4.2 Normas para Sistemas Fotovoltaicos.....	58
3.4.2.1 Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala.	58
3.5 Políticas Públicas del poder Legislativo	59
3.5.1 Ley del ISR (Artículo 40 fracción XII)	59
3.5.2 Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética	59
3.5.3 Ley Federal de Derechos, en materia de hidrocarburos.....	61
3.6 Barreras.....	63
3.6.1 Barreras económicas.....	63
3.6.2 Barreras técnicas-científicas	63
3.6.3 Barreras de infraestructura.....	63
3.6.4 Barreras institucionales	64
3.6.5 Barreras regulatorias	64
3.6.6 Barreras Socio-Culturales.....	64
3.7 Tipos de Financiamientos.....	65
3.7.1 Crédito INFONAVIT (Hipotecas Verdes)	65
3.7.2 Viviendas con techos solares	66
3.7.3 Crédito FONACOT	67
3.7.4 Financiamiento por parte del vendedor de los sistemas	68
3.7.5 Tarjeta de Crédito	68
3.8 Estudios de Financiamiento de SFV y CSA en México.	68
3.8.1 Sistemas Fotovoltaicos	69
3.8.2 Calentadores Solares de Agua	70
Capítulo 4 - Escenarios de la Energía Solar en el Sector Residencial en México.....	72
4.1 Introducción	72
4.2 Metodología General	72
4.3 Sistemas Fotovoltaicos.....	73
4.3.1 Parámetros de referencia	73
4.3.2 Caso Unitario	74
4.3.3 Línea Base	78
4.3.4 Potencial	78
4.3.5 Escenarios de instalación factible	78
4.3.6 Análisis Costo-Beneficio.....	79
4.3.7 Evaluación Ambiental	82
4.3.8 Costo-Beneficio de mitigación	83
4.4 Calentadores solares.....	83
4.4.1 Parámetros de referencia	83
4.4.2 Caso Unitario	85

4.4.3 Línea Base	86
4.4.4 Potencial	86
4.4.5 Escenarios de instalación factible	87
4.4.6 Análisis Costo-Beneficio	88
4.4.7 Evaluación Ambiental	89
4.4.8 Costos - Beneficios de mitigación	90
4.5 Integración de Resultados	90
4.6 Análisis de Barreras y Actores Involucrados	91
5 Conclusiones	93
Anexos	95
Bibliografía	107

INTRODUCCIÓN

El mundo consume actualmente más energía que en décadas pasadas. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA 2009a)ⁱ, en 1973 el consumo global de energía primaria fue de 6,115 Mtoe (Millones de toneladas de petróleo equivalente), frente a las 12,029 Mtoe registradas en el 2007. Lo que nos indica que en 35 años el consumo primario de energía casi se duplicó. Algunos pronósticos indican que en 20 años más (2030) el mundo consumirá 40% más de energía de lo que se consume actualmente (IEA, 2009b)ⁱⁱ. Esto debido a diversos factores como el alto crecimiento de la población global (se pronostica que en el 2030 habrá cerca de 8.5 billones de personas, lo que significa, 2 billones de personas más reportadas en el 2010 (WorldBank, 2010)ⁱⁱⁱ) principalmente en países en vías de desarrollo, lo cuales están evolucionando a economías más fuertes, incrementando el nivel de vida de sus habitantes y por lo tanto su consumo energético.

La principal fuente de energía primaria en el mundo son los hidrocarburos y en la actualidad corresponden a casi el 80% de toda la energía primaria producida y consumida globalmente (IEA, 2009a). En México la dependencia es mayor, en el 2008 fue de 90% (SENER, 2008)^{iv}.

Los hidrocarburos son una fuente finita de energía, por lo que se agotaran algún día. Las reservas de hidrocarburos no son suficientes y los nuevos yacimientos se dan generalmente en lugares de difícil acceso y con peligros y riesgos ecológicos enormes, como lo sucedido hace unos meses (20 de Abril 2010) en el golfo de México, donde una plataforma petrolera de BP exploto, derramando más de 20 millones de galones de petróleo crudo, ocasionando uno de los mayores desastres ecológicos de las últimas décadas (BBC, 2010)^v.

También es importante mencionar lo expuesto por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en ingles), que han demostrado, que la combustión de hidrocarburos por parte de la actividad humana, contribuye en forma determinante al aumento de gases efecto invernadero en la atmósfera, causantes del calentamiento global (IPCC, 2010)^{vi}.

El impulso de las energías renovables, en particular la energía solar, un recurso abundante en México¹ puede dar una solución a los problemas que enfrentaremos en las próximas décadas si continuamos con el uso de combustibles convencionales y finitos como los hidrocarburos.

En el mundo existen dos tecnologías comerciales, las cuales han demostrado en muchos países, que son viables económicamente (IEA-PVPS 2008)^{vii}, (IEA-SHC 2009)^{viii}, estas son: los sistemas fotovoltaicos (SFV) y los calentadores solares de agua (CSA) para la producción de electricidad y agua caliente por medio de la energía solar respectivamente.

Sin embargo, históricamente los bajos precios de los combustibles fósiles, los subsidios de la electricidad, los altos costos iniciales de los equipos solares entre otros, han desmotivado el aprovechamiento del potencial solar en muchos países dentro de los que se encuentra México.

¹ México cuenta con excelentes recursos de energía solar, con un promedio de radiación de alrededor a 5,000 W/m²/día (SENER 2008).

Las aplicaciones residenciales de estas tecnologías han demostrado en países como Alemania y España líderes en mundiales en el uso de la energía solar fotovoltaica, que pueden desarrollar un gran mercado. Alemania de tener tan solo 113.7 MW instalados en el 2000, paso a tener una capacidad instalada de 5.34 GW en el 2008, lo que significa incrementar su capacidad casi 47 veces en tan solo 10 años, esto gracias al fomento de los sistemas interconectados a la red para aplicaciones residenciales (*IEA-PVPS 2008*). En España donde actualmente los sistemas interconectados a la red para aplicaciones residenciales representan casi el 99% de la capacidad instalada de SFV. Y es considerable su aumento del 2007 al 2008 donde cuadruplico su capacidad instalada, al pasar de 693 MW a 3,354MW (*IEA-PVPS 2008*).

Para el caso de calentamiento solar de agua (CSA), un estudio por parte de la Agencia Internacional de Energía sobre CSA (*IEA-SHC 2009*) reporta que para el año 2007 entre los 49 países más industrializados del mundo (lo que representan el 85-90% del mercado de calentadores solares de agua (CSA) a nivel mundial) existía una capacidad instalada de aproximadamente 209.7 millones de m² lo que representaba 120.5 GWh. El país con más alta capacidad instalada y que en tan solo 7 años cuadruplico su capacidad instalada es China.

Ahora independientemente si los CSA proporcionan agua para ducha o para alberca es importante notar el alto porcentaje que ocupan los sistemas domésticos para viviendas unifamiliares ya que 46 de los 49 países evaluados en este reporte de la IEA, poseen un porcentaje superior al 90% del total de su capacidad está instalada en viviendas unifamiliares.

Tomando esas consideraciones en México el sector residencial representa un alto nicho de oportunidad para el uso de estas tecnologías. Según datos del último balance nacional 2008, el sector residencial en México ocupó casi el 15% (750PJ) del consumo final total de energía del país (*SENER 2008*).

Para satisfacer las necesidades de este sector, como son la cocción de alimentos, iluminación, calefacción y el calentamiento de agua para uso higiénico, los principales combustibles en el año 2008 fueron el gas LP con una participación de 302PJ lo que representa un 40% del total del consumo del sector, la leña con 246PJ (33%), la electricidad con 165PJ (23%), y el gas natural o también llamado gas seco con 30.7PJ (4%) (*SENER 2008*).

En México el uso de la energía solar en el sector residencial podría dar una solución a los problemas que enfrentaremos en las próximas décadas. Actualmente su uso es incipiente, representando apenas una capacidad instalada de 1.6 PJ comparado contra el consumo del sector de 750 PJ en el 2008 (*SENER 2008*).

El impulso del uso de esta energía representa una oportunidad para reducir la dependencia del país hacia los hidrocarburos, la generación de gases efecto invernadero y al desarrollo económico del país, con beneficios tanto en nivel vivienda como a nivel macroeconómico. Además presenta una oportunidad para generar nuevas fuentes de empleo y la oportunidad para el desarrollo de investigación local y nacional.

El objetivo de esta tesis es la elaboración de un estudio económico y ambiental prospectivo sobre el uso de la energía solar en el sector residencial.

La prospectiva permite visualizar cual es el potencial, y los escenarios para una situación determinada, pretendiendo demostrar que el uso de la energía solar en el sector residencial en México es accesible económicamente y una vez visualizando esta información es posible identificar cuáles son las principales barreras y actores involucrados que debería tomarse en consideración para la extensiva difusión de la energía solar en el sector residencial mexicano.

La metodología usada para demostrar la hipótesis planteada es la siguiente:

- Análisis del estado actual del uso de la energía solar en el mundo y en México
- Análisis del sector residencial en México (crecimiento económico, poblacional y consumo energético actual y prospectivo).
- Análisis de las políticas públicas e instituciones relacionados con el empleo de la energía solar en el sector residencial de México
- Análisis del potencial del uso de la energía solar en el sector residencial de México hacia el 2030.
- Análisis de costo beneficio del uso de la energía solar de un estudio de caso
- Construcción de escenarios de la energía solar en México
- Análisis costo beneficio del escenario
- Evaluación de la mitigación de gases efecto invernadero al dejar de consumir energía convencional.
- Integración y presentación de los resultados.
- Análisis de las principales barreras y los actores del fomento de la energía solar en el sector residencial en México

Para el desarrollo de esta metodología esta investigación está dividida en 4 capítulos. El primero es una introducción de la energía solar en el contexto mundial, donde se expone que es la energía solar, sus usos actuales y las tecnologías para su aprovechamiento. Los beneficios que aporta y su estado actual en el mundo, así como las diversas políticas e iniciativas mundiales para fomentar su aprovechamiento.

El segundo capítulo trata sobre la retrospectiva y prospectiva del consumo energético del sector residencial en México. Además se presenta el potencial de aprovechamiento y el panorama actual de la energía solar en México.

El tercer capítulo presenta las políticas públicas actuales para el fomento de la energía solar en el sector residencial en México, así como los programas y sistemas de financiamiento actuales. Y las barreras principales para el desarrollo masivo del uso de esta tecnología en el sector residencial de México.

En el ultimo capitulo 4 se elabora una metodología y se construyen escenarios del uso de la energía solar en el sector residencial en México, a saber, sistemas fotovoltaicos (SFV) y calentadores solares de agua (CSA), obteniendo los resultados de ahorro energético, económicos y ambientales. Procediendo con la integración de ambas tecnologías.

Después se presenta el análisis de las barreras y los actores que podrían o deberían enfrentarlas para la adecuada penetración y fomento de la energía solar en el sector residencial en México

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones para siguientes estudios.

RESUMEN

La energía solar, un recurso muy abundante en México representa una solución a los futuros problemas del uso de combustibles convencionales y finitos como los hidrocarburos. En diversos países del mundo las tecnologías solares como los sistemas fotovoltaicos (SFV) y los calentadores de agua (CSA), ambas aplicaciones residenciales, han crecido a un ritmo asombroso, lo que demuestra que en México el sector residencial presenta un nicho considerable para el uso de la energía solar. Esta tesis demuestra que los SFV son económicamente viables para usuarios de alto consumo eléctrico (DAC) y su periodo de recuperación en un caso unitario llega a ser de tan solo 6 años, mientras que un CSA puede tener un periodo de recuperación de 4 a 5 años. En la construcción de escenarios para el sector residencial mexicano se demuestra que el uso de SFV representaría un ahorro de \$1,670 millones (USD 2007), evitando el uso de 6.54 PJ y mitigando casi 11 millones de toneladas de CO₂, en un periodo de 20 años. Por otra parte el uso de CSA en el sector residencial significaría un ahorro al sector de \$530 millones (USD 2007), evitando el uso de 64.5PJ y lo que proporcionaría una mitigación de 68.8 millones de toneladas de CO₂ en 20 años. Además se obtuvo una idea clara de cuáles son las barreras y quienes podrían apoyar para el adecuado fomento y penetración de la energía solar en el sector residencial mexicano.

ABSTRACT

In Mexico the solar energy is very abundant, and it represents a solution for the future problems of the use of conventional fuels and finite resources such as hydrocarbons. In many countries around the world solar technologies such as the photovoltaics (PV) and the solar water heaters (SWH), both residential applications, have grown at a surprising rate, which shows that in Mexico, the residential sector has a considerable niche for the use of solar energy. This thesis demonstrates that the PV are economically viable for users with high electricity consumption. In a unit case the payback period results in 6 years, while a SWH can have a payback period of 4 to 5 years. In the scenarios developed for the Mexican residential sector was demonstrated that the use of PV will save \$1.670 million (USD 2007), avoiding the use of 6.54 PJ and a mitigating of 11 million tons of CO₂, in a period of 20 years. On the other hand the use of SWH in the residential sector will save \$530 million (USD 2007), avoiding the use of 64.5PJ and a mitigating of 68.8 million tons of CO₂ in 20 years. It was also obtained a clear idea of what are the barriers and those who could support for the proper promotion and penetration of solar energy in the Mexican residential sector.

CAPÍTULO 1 - LA ENERGÍA SOLAR EN EL CONTEXTO MUNDIAL ACTUAL

1.1 INTRODUCCIÓN

El uso de la energía solar no es algo moderno, y se remonta a épocas prehistóricas, donde el ser humano utilizaba dicha energía para el secado de alimentos o evaporar agua de mar para conseguir sal (Kalogirou, 2004)^{ix}.

El aprovechamiento de la energía solar en el mundo tiene un alto potencial físico, en el 2007 represento 1,800 veces el consumo primario actual de energía a nivel global^x (Véase figura 1). Pero actualmente el uso de la energía solar a nivel global representa menos de 1% del consumo total de energía primaria² (IEA, 2009)^{xi}.

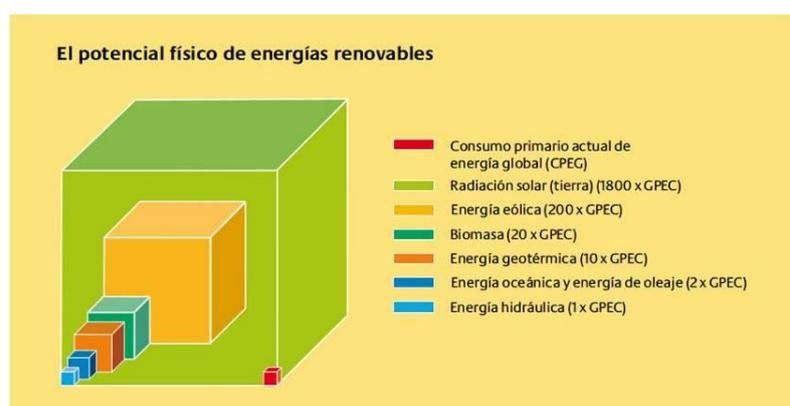


Figura 1. Potencial físico de energías renovables, Fuente Nitsch F. (2007)

No obstante esta situación, en estos últimos años es importante notar el alto crecimiento que ha tenido el aprovechamiento de la energía solar en el mundo, en algunos países llegando a crecer inclusive hasta en 5 veces su potencia en capacidad instalada con respecto a años anteriores.

Según un estudio publicado en 2007 por el *World Energy Council (WEC)*, para el año 2100 el 70% de la energía consumida será de origen solar^{xii}. Y *Greenpeace* sugiere que la energía fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030.^{xiii}

Las políticas públicas de diversos países para fomentar el uso de esta energía han tenido un gran impacto en el mercado, particularmente en el caso de sistemas fotovoltaicos con esquemas de tarifas garantizadas (*feed-in tariffs*), y en el caso de calentadores solares de agua con subsidios directos a los consumidores. También las necesidades actuales energéticas han generado una alta demanda, un ejemplo es China, donde se posee la mayor capacidad instalada de calentadores solares de agua a nivel global para satisfacer necesidades de agua sanitaria y otras necesidades térmicas sin necesidad de subsidios o de algún tipo de instrumento de fomento para generar este mercado, (IEA-SHC, 2009)

² Según datos de la IEA (2009) en el 2007 el consumo global de energía primaria fue de 12,029 Mtoe (millones de toneladas de petróleo equivalente) del cual solo el 0.7% correspondió al rubro de otras energías las cuales incluyen a la geotérmica, solar, eólica, y térmica solar.

1.2 LA ENERGÍA SOLAR

El término "Energía Solar" es todavía un tema de discusión en la literatura y el ámbito científico (Bradford, 2006)^{xiv}, ya que en términos generales, podría ser utilizado para describir cualquier fenómeno que haya sido creado por la actividad solar y que aproveche dicha forma de energía, directa o indirectamente desde la fotosíntesis hasta la electricidad de origen fotovoltaica. En efecto, casi todas las formas de energía en el mundo que conocemos poseen un origen solar. Por ejemplo, el petróleo, carbón, gas natural y la madera fueron originalmente producidos por procesos que implicaron la fotosíntesis, seguidos de reacciones químicas complejas en las que la vegetación fue sometida a muy altas temperaturas y presiones durante un largo periodo de tiempo.

Diversos autores como: Neville (1995)^{xv}, Bradford (2006) y Kalogirou (2009)^{xvi}, definen el concepto de energía solar como aquella energía obtenida mediante la captación directa o indirectamente de la luz y el calor emitidos por el sol. Una de las grandes ventajas de esta energía es que es considerada como una energía renovable³, (IEA, 2003)^{xvii}, ya que se estima que la vida del sol es de varios miles de millones de años más^{xv}. De las tres fuentes principales de energía renovable que cuenta la tierra (geotérmica, solar y la ocasionada por la gravedad de los astros) la solar representa un 99.9%^{xviii}, ya que, por ejemplo, la energía eólica, la producción de biocombustibles o la hidroeléctrica provienen indirectamente de la energía solar en el planeta.

Ahora para entender cómo se usa la energía radiada por el sol, hay que mencionar que este astro emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Del aprovechamiento directo de la radiación del sol, se obtiene una potencia conocida como *irradiación* que varía según la latitud del sitio, el momento del día y las condiciones atmosféricas que la amortiguan. Se puede asumir que en la superficie terrestre, en un día claro, al medio día solar y en un plano normal a los rayos solares, la potencia de la radiación es cercana a los 1,000 W/m². La radiación solar aprovechable puede obtenerse de forma tanto directa como difusa, o en la suma de ambas también llamada radiación global. La radiación directa es la que llega del Sol sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la que es absorbida por la atmósfera en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres y es emitida gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar. (Duffie 2006)^{xix}

1.3 TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

Para comprender el concepto de *aprovechamiento de la energía solar* se requiere examinar los tres principales métodos de aprovecharla: (1) pasiva y activa, (2) térmica y fotovoltaica y (3) con concentración y sin concentración.

Primero, el aprovechamiento de la energía solar pasiva comienza con el diseño del edificio e incluye la óptima localización del inmueble, de las ventanas, las paredes que absorben el calor y la luz, y el tipo de aislamiento. En la energía solar pasiva la luz y el calor no son convertidos a otras formas de energía, son simplemente utilizados. El aprovechamiento de la energía solar pasiva es mucho más fácil de obtener en un edificio en vías de construcción, ya que aplicar este tipo de tecnología en edificios existentes puede resultar muy costoso y difícil de conseguir.

³ IEA (2003) define a la energía renovable como: *aquella derivada de los procesos naturales que se reabastece o se repone constantemente. En sus diversas formas, se deriva directamente del sol, o de calor generado en las profundidades de la tierra. Incluyendo en la definición a la electricidad y el calor generado por la energía solar, eólica, oceánica, hidráulica, biomasa, recursos geotérmicos, biocombustibles y el hidrógeno derivados de recursos renovables*

La llamada energía solar activa, consiste en convertir la energía solar a una energía más usable que puede ser térmica ó electricidad. La conversión a energía térmica incluye colectores solares y mecanismos que utilicen el calor directamente, por otra parte la conversión a energía eléctrica aunque puede generarse por medio de dispositivos térmicos (convirtiendo agua en vapor a través de un dispositivo solar y accionando un motor a vapor que genere electricidad) generalmente es obtenida por celdas fotovoltaicas, que utilizan el efecto fotovoltaico para la generación eléctrica.

Finalmente, la energía activa puede subdividirse de acuerdo al grado de concentración usado. Sistemas que integran espejos o lentes para dirigir la luz solar a áreas específicas son ejemplos de este tipo de tecnología.

En particular esta tesis tiene como objetivo el estudio del uso de la energía solar enfocada en las tecnologías que aprovechan de manera activa el uso de la energía solar con un grado de concentración a baja temperatura para usuarios residenciales. Estos son los sistemas fotovoltaicos (SFV) y los colectores solares ó también conocidos como calentadores solares de agua (CSA).

En la siguiente tabla se muestra el desglose de las formas actuales más comunes de aprovechamiento de la energía solar activa, tanto térmica y fotovoltaica con sus modalidades de aprovechamiento y tamaños. La modalidad de aprovechamiento se puede clasificar como centralizado, distribuido a gran escala y en sitio distribuida. Estas modalidades corresponden al tipo de usuario que aprovecha el recurso solar, clasificándose en servicio público, usuarios comerciales y usuarios residenciales respectivamente

Aprovechamiento de la Energía Solar		
Modalidad y Tamaño	Fotovoltaica	Solar Térmica
Centralizado (2MW-GW)	Plantas Fotovoltaicas y de potencia térmica solar para servicio público	Concentradores de energía solar térmica (CSP)
Distribuido a gran escala (20KW-2MW)	Edificios comerciales (FV)	Edificios comerciales (CSA)
En sitio distribuida (<20KW)	Residencial (FV)	Calentadores solares de agua residencial

Tabla 1. Aprovechamiento de la energía solar, fuente: Bradford (2006)

1.3.1 LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía incidente de la luz solar en electricidad. Un sistema fotovoltaico está compuesto por celdas que mediante el efecto fotovoltaico⁴

⁴ El efecto fotovoltaico es la base del proceso mediante el cual una celda FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, ó partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una celda FV, pueden ser reflejados, absorbidos, ó pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico

convierte la energía de la radiación solar en electricidad y su diseño está basado en la tecnología de los semiconductores. Las celdas fotovoltaicas en general pueden ser divididas en dos categorías: celdas solares de silicio tipo cristalino y policristalino y celdas solares de película delgada.

1.3.1.1 CELDAS SOLARES DE SILICIO TIPO CRISTALINO Y POLICRISTALINO

La tecnología fotovoltaica actual está basada principalmente en celdas solares de silicio de tipo cristalino y policristalino. El silicio es el segundo material más abundante en la tierra, después del oxígeno, aunque no se encuentra en estado puro y contiene elementos que son difíciles de eliminar^{xx}.

Las celdas tipo cristalinas se componen de secciones de un único cristal de silicio, se caracteriza por un ordenamiento periódico de átomos. El silicio se extrae de la arena, se purifica, se funde y cristaliza en lingotes redondos. Una vez redondeados se corta en finas obleas, para conseguir celdas individuales. Las celdas se dopan con fósforo para obtener un material tipo "n" y con boro para un material tipo "p" y así obtener una homounión p-n. Este tipo de tecnología presenta unas de las mejores eficiencias reportadas, con un rendimiento en laboratorio para el tipo cristalino de 24.7% y en usos comerciales del 16-18%. (IEA, 2008). (Véase figura 2)

El silicio policristalino, se llama así porque se solidifica en varios cristales y no en uno solo, esto significa que el silicio es de menor pureza y por lo tanto de menor costo y no requiere de un control exhaustivo en su fabricación. Esto da un rendimiento menor, pero los fabricantes de este tipo de tecnología mencionan que las ventajas del costo compensan las pérdidas de eficiencia. Las celdas policristalinas consiguen rendimientos de un 20.3% laboratorio y 12-15% a nivel comercial. (IEA, 2008)



Figura 2. Celda de silicio monocristalino, fuente: www.eere.energy.gov

Por las características físicas del silicio cristalino y policristalino, los paneles fabricados basados en esta tecnología presentan un grosor considerable.

1.3.1.2 CELDAS DE PELÍCULA DELGADA

Las celdas de película delgada son el resultado de una tecnología que permite el uso de otros materiales semiconductores; dependiendo del tipo de semiconductor, se pueden hacer celdas hasta de una micra de espesor. Mediante el empleo del silicio con otra estructura u otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles muy finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares.

Dentro de las celdas de película delgada la tecnología más avanzada comercialmente es la que utiliza silicio amorfo, éste material no posee una estructura cristalina y presenta defectos en sus enlaces atómicos. Está formado por capas delgadas sucesivas, por lo que es más económico ya que se utiliza menor cantidad de material semiconductor, el 1% o menos del silicio normal, y permite además hacer celdas en diferentes

colores o translúcidas y de diferentes tamaños que no sean celdas individuales montadas en marcos (véase figura 3). La película delgada posee un alto coeficiente de absorción pero solamente absorbe el espectro visible de la luz y presenta la desventaja de tener niveles más bajos de eficiencia debido a un alto nivel de recombinación de los electrones. Su eficiencia reportada en laboratorio es del 13% y en paneles comerciales del 8%. (IEA, 2008)

Otro tipo de celdas de película delgada es aquella que utiliza arseniuro de galio (*GaAs*), uno de los semiconductores más eficientes pero de alto costo, generalmente utilizada en la industria espacial. Se compone de capas de diversos materiales de película delgada, que absorben un diverso espectro de luz. Se han reportado eficiencias de laboratorio del 25.7% y comercial en un 20%. (IEA, 2008)

El telurio de cadmio (*CdTe*) presenta un menor costo de fabricación y se han reportado eficiencias de hasta un 16% en laboratorio y 8% a nivel comercial. Por otra parte también es notable el uso de cobre indio galio y selenio (*CIGS*) con eficiencias en laboratorio del 20% pero actualmente sin prototipos comerciales reportados. (IEA, 2008).

El uso de celdas solares de película delgada puede significar una disminución de costos y requerimientos energéticos para su fabricación en comparación con las celdas de silicio cristalino (mono- y policristalino). Diversos estudios predicen que las celdas solares de película delgada podrían obtener llegar a tener una eficiencia comercial del 15% a menor costo que las celdas convencionales de silicio^{xxi}.



Figura 3. Celda de película delgada flexible, fuente: www.vitexsys.com

Las celdas fotovoltaicas que han reportado mayor eficiencia son aquellas llamadas "multiunión" que por sus costos⁵ solo han sido desarrolladas particularmente para aplicaciones espaciales (véase figura 4). Spectrolab ha logrado un 40.7% de eficiencia reportada en diciembre del 2006 (véase figura 4) y un consorcio liderado por investigadores de la Universidad de Delaware ha obtenido un rendimiento de 42.8% (reportado en septiembre del 2007)^{xxii}.

⁵ Costo de aproximadamente (USD 2008) \$40/cm².

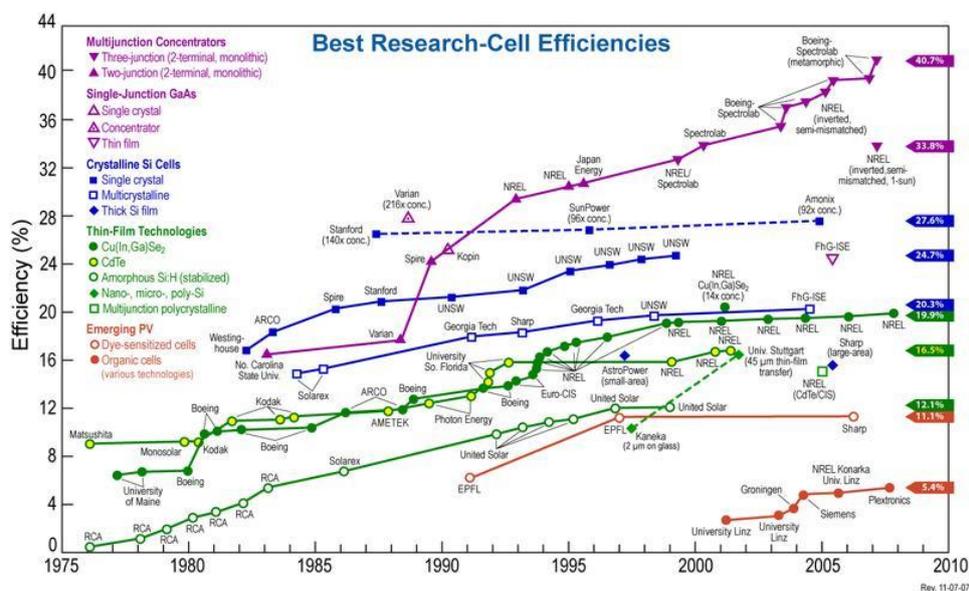


Figura 4. Eficiencia celdas fotovoltaicas, fuente: Lawrence Kazmerski, Don Gwinner, Al Hicks, 2007, DOE

1.3.1.3 CICLO DE VIDA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Actualmente existen diversos prejuicios y mitos sobre los SFV, entre ellos, que la tasa de recuperación de energía y el impacto ambiental en el ciclo de vida de los SFV es negativo. Según un estudio por parte de Asociación de la Industria fotovoltaica de España, (ASIF 2010)^{xxiii} menciona que el origen de esta discusión se encuentra en los primeros años de la industria fotovoltaica. Ellos reportan que en 1955 se ocupaba un periodo de *recuperación energética* de casi 60 años (véase figura 5).

Para entender el concepto de *recuperación de energía* es importante conocer que existen dos procesos en la fabricación de las celdas FV en los que se consume una mayor energía (García et al, 2010)^{xxiv}: la purificación del silicio⁶ y la cristalización⁷.

Otro factor a tomar en consideración para el análisis de ciclo de vida de los SFV es la ubicación, ya que en lugares con una mayor insolación el periodo de recuperación será más corto. Según el estudio de la AIE (2006)^{xxv} se estima que por ejemplo en España el periodo de recuperación de un SFV posee una media de 2 años y en un país más septentrional como Suecia es de 3 años.

⁶ El consumo energético en todo el ciclo de purificación se calcula entre 15 y 18 MW por tonelada de silicio metalúrgico obtenido listo para ser transportado a la industria metalúrgica del aluminio o a la química o a la electrónica o fotovoltaica.

⁷ En la obtención de silicio cristalino se parte de los guijarros de Si-GE mediante un proceso de fusión y cristalización controlada alrededor de 1500C, en los cuales se involucra una energía entre 2.5 y 3.0 MWh para obtener 1 Tonelada de Si monocristalino., Existen dos métodos principales de obtención de obleas de silicio: Método Czochralski (CZ) y el de zona flotante (ZF).

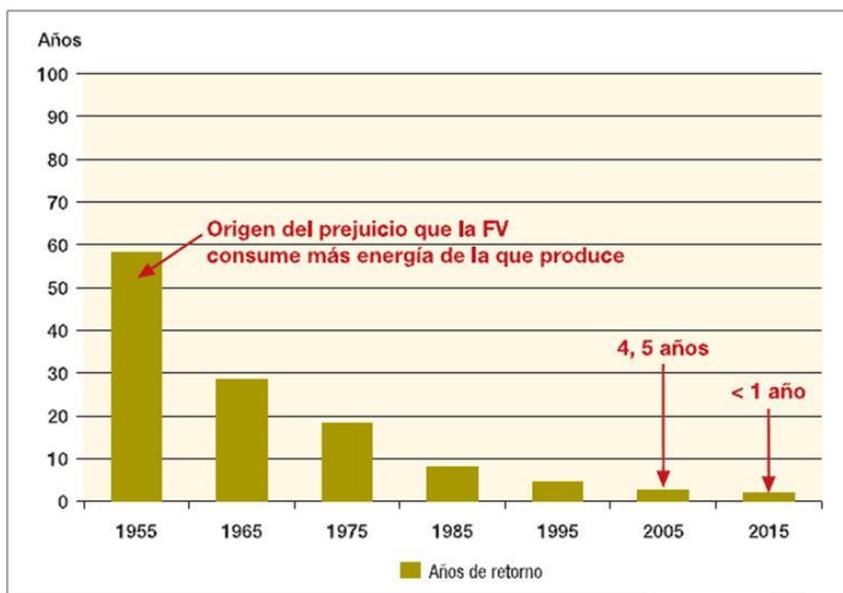


Figura 5. Periodo de recuperación energética SFV, fuente: (ASIF 2010)

Referente al impacto ambiental, conviene aclarar que el principal material utilizado en la fabricación de placas solares, el silicio, "no es tóxico ni contaminante". Eso sí, durante la producción de las placas, "se pueden usar metales pesados como el plomo (para las soldaduras). En cambio las celdas de película delgada si utilizan pequeñas cantidades de Cadmio, según *Carlos del Cañizo*, director del Instituto Solar de la Universidad Politécnica de Madrid⁸, advierte que en su fabricación se utilizan pequeñas cantidades de cadmio que sí pueden causar algún problema tóxico. Pero menciona que: "el manejo de los químicos y metales pesados utilizados durante la fabricación de estas placas está muy controlado por la industria química, y una vez que el módulo está terminado, no existe ningún peligro".

En un estudio por parte de *Raugei et al (2009)*^{xxvi} se menciona que el impacto ambiental del ciclo de vida de los SFV ha disminuido en las dos últimas décadas. Y actualmente la energía entregada por parte de un SFV frente aquella producida por carbón o por una turbo gas de ciclo combinado (CC) es mucho menor, con tan solo 34 g(CO₂-eq/kWh) frente a 900 y 400 respectivamente (véase figura 6).

⁸ http://www.soitu.es/soitu/2008/12/10/medioambiente/1228926982_936933.html Consultado Junio 2010

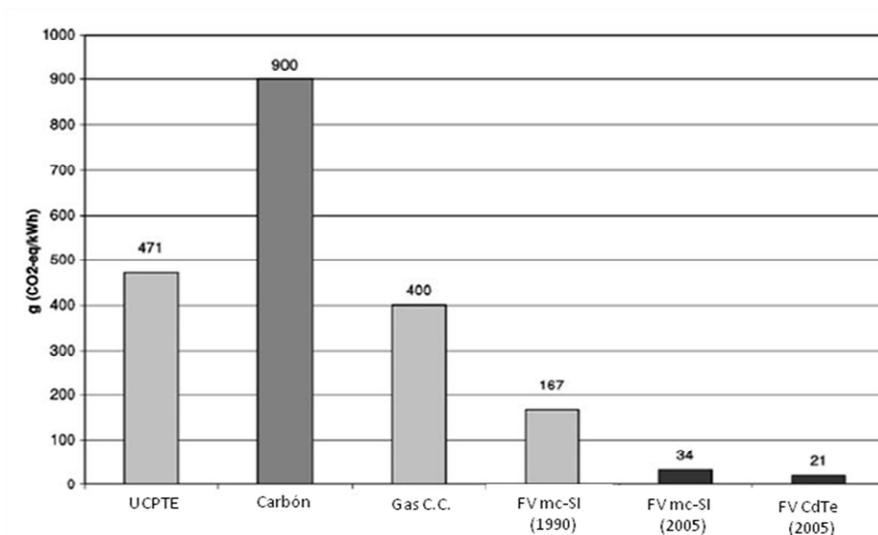


Figura 6. Emisiones de GEI por tecnología de generación eléctrica fuente: Rauei et al (2009), *Coordinación de la Unión Europea para la producción y Transmisión de electricidad (siglas en inglés UCPTe)

1.3.1.4 COSTOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La industria fotovoltaica utiliza el watt-pico (WP), para medir el costo de un SFV. El WP es la potencia de salida de un módulo FV con una irradiación de 1000 watts/m² a una temperatura de 25°C.

Los costos de los SFV varían de acuerdo al país pero en general han venido disminuyendo constantemente en estas dos últimas décadas. En promedio un 20% cada vez que la producción global se duplica (Rauei et al, 2009). Según un estudio prospectivo de DOE (2008)^{xxvii}, consideran que para el 2015 el watt pico instalado llegue a costar tan solo \$1.25 usd (véase figura 7).

Otro autor (Hoffmann, 2004)^{xxviii} menciona que si la tendencia se mantiene, los costos de los SFV podrían ser competitivos al 2010. Esto para países con buena radiación solar como el sur de Europa o para el norte de Europa en el 2020. Por lo que es importante mantener el fomento al uso de estos dispositivos.

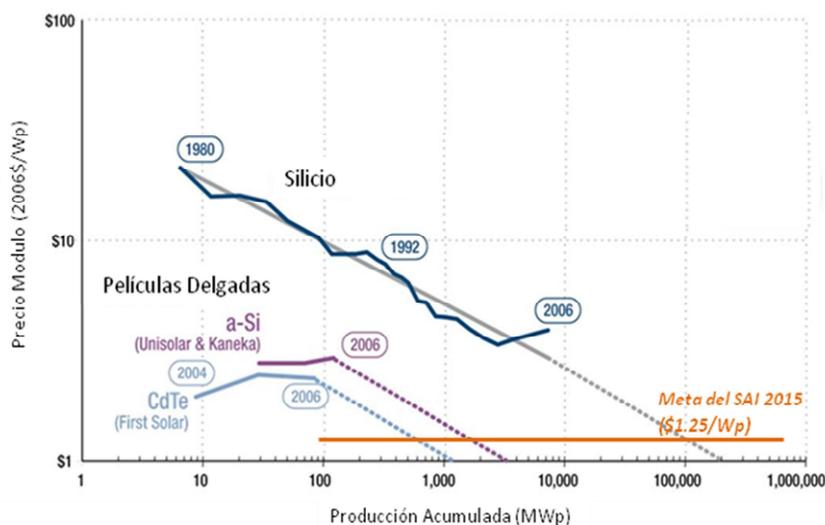


Figura 7. Precios históricos y prospectivos de los módulos FV frente a la producción acumulada, fuente: DOE 2008

1.3.1.5 INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

El conjunto de elementos que se utilizan para generar y transmitir electricidad a partir de la energía solar se conoce como sistema fotovoltaico. Está integrado por diferentes subsistemas que realizan diversas funciones, las cuales pueden ser divididas en:

- Captación de energía
- Regulación y adaptación del suministro eléctrico
- Acumulación

CAPTACIÓN DE ENERGÍA

La captación de energía se obtiene por medio de las celdas solares, las celdas solares funcionan como un diodo que permite que la corriente eléctrica fluya en un solo sentido. Una celda puede producir entre 1 y 2 watts de potencia y un voltaje de 0.5V, variando ligeramente conforme la temperatura. Para obtener potencias mayores se conectan varias celdas, formando un modulo o panel FV. Actualmente los paneles FV más comercializados son los de silicio monocristalino y policristalino. Estos paneles generalmente están formados por una serie de circuitos de 30 a 36 celdas encapsuladas entre un material transparente y un material plástico en la parte posterior. Otras partes del panel lo constituye el marco, el soporte y los contactos eléctricos de salida, por donde se extrae la corriente. Estos pueden encontrarse en el mercado con potencias que rondan entre los 50W hasta los 200W y voltajes de 6V, 12V y 24V. Los paneles que utilizan películas delgadas pueden ser flexibles con material transparente en la parte frontal.

A su vez los paneles fotovoltaicos se conectan en serie o paralelo para formar un arreglo fotovoltaico (Véase figura 8). La conexión y dimensión del arreglo depende de la cantidad de irradiación del lugar y de la energía requerida. Si se conectan los paneles en serie se aumenta el voltaje y se conserva la corriente, cuando los paneles se conectan en paralelo se conserva el voltaje y se aumenta la corriente.



Figura 8. Sistema Fotovoltaico, fuente: www.cie.unam.mx

REGULACIÓN Y ADAPTACIÓN DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO

Está formado por dos dispositivos: el regulador o controlador de carga y el inversor de corriente. Esto debido a que la potencia varía conforme a la radiación solar, por lo que se requiere un dispositivo que mida la potencia y el voltaje y que ajuste la carga en tiempo real para transferir siempre la misma potencia.

El regulador de carga, como su nombre lo indica, regula los ciclos de carga y descarga de la batería limitando el voltaje a valores adecuados y evita que una sobrecarga del panel pueda dañar la batería, lo que podría acortar la vida útil de esta última. Otra de su función principal es la de desconectar el sistema de generación o dirigir la corriente a otra parte cuando las baterías están completamente cargadas.

El SFV genera energía eléctrica en corriente directa que puede ser usada directamente en algunos aparatos eléctricos, sin embargo, la gran mayoría requiere corriente alterna, por lo que debe ser convertida o almacenada para su posterior uso. El inversor convierte la corriente de salida directa, de 12v o 24v, del arreglo fotovoltaico o de la batería en corriente alterna para su uso en el consumo de los aparatos eléctricos, que generalmente es de 120 o 240 volts.

ACUMULACIÓN

Está formado por las baterías, que almacenan la energía generada. Las baterías reciben la carga en corriente directa del panel fotovoltaico y proporcionan un voltaje también en corriente directa.

La capacidad de una batería es la cantidad de electricidad que se puede obtener durante una descarga. Se mide en amperios-hora (Ah). La profundidad de descarga es el porcentaje de la carga total que se ha sacado de la batería. La vida de las baterías está directamente relacionada con su profundidad de descarga. Se expresa en ciclos, que es el número de veces que se produce una carga–descarga.

En general las baterías necesitan reemplazarse cada 5 o 10 años, presentan pérdidas durante los procesos de carga y descarga y una eficiencia de alrededor de 80%. En los sistemas fotovoltaicos, se utilizan baterías de ciclo profundo ó ciclo poco profundo y en su mayoría pueden ser: plomo-ácido, níquel-cadmio o gel.

Las baterías de níquel-cadmio son las que presentan mejor funcionamiento pero debido a sus altos costos tienen una menor participación en el mercado, por lo que las de plomo-ácido son las más utilizadas

1.3.2 CALENTADOR SOLAR

Un calentador solar es un aparato que utiliza el calor del sol para calentar alguna sustancia, como puede ser agua, aceite, o incluso aire.

Su uso más común es para calentar agua para uso en albercas o servicios sanitarios (duchas, lavado de ropa o trastes) tanto en ambientes domésticos como comerciales. Un colector solar está formado por aletas captadoras y tubos por donde circula el agua, los cuales capturan el calor proveniente de los rayos del sol y lo transfieren al agua que circula en su interior. Se les clasifica en la categoría de baja temperatura, debido a que funcionan con temperaturas menores a los 100°C. El agua caliente circula de los tubos o el colector hacia el tanque mediante el efecto denominado termosifónico, que provoca la diferencia de temperaturas. Y siendo el agua caliente más ligera que la fría, por lo tanto, tiende a subir. Esto es lo que sucede entre el colector solar plano y el termotanque, con lo cual se establece una circulación natural, sin necesidad de ningún equipo de bombeo. El termo-tanque, está forrado con un aislante para evitar que se pierda el calor ganado, esto proporciona una menor pérdida de energía térmica y mantiene el agua caliente un mayor tiempo. El colector solar plano se instala normalmente en el techo de la casa y orientado de tal manera que quede expuesto a la radiación del sol el mayor tiempo posible del día. Para lograr la mayor captación de la radiación solar, el colector solar plano se coloca con cierta inclinación, la cual depende de la latitud del lugar donde sea instalado.

Los calentadores solares pueden ser divididos en dos tecnologías diferentes: colectores solares planos y tubos evacuados.

1.3.2.1 EL COLECTOR SOLAR PLANO

El colector solar plano está constituido por un elemento absorbente metálico, protegido térmicamente, mediante un aislante y una cubierta de material transparente que generalmente es vidrio. El elemento absorbente puede ser dividido en dos tipos de configuraciones: parrillas de tubos o serpentines (colectores en meandro).

El principio básico que rige esta tecnología es utilizar el efecto invernadero que se produce al quedar atrapado el calor que atraviesa la capa transparente del colector. En el interior circula agua, generalmente de manera natural por medio de la gravedad y utilizando las diferencias de densidades debidas a los gradientes de temperaturas entre las zona fría y caliente del sistema. Este fenómeno se denomina termocirculación natural o sistema termosifónico (*Pilatowsky, 2009*)^{xxx}.

La configuración más empleada es la de parrilla de tubos verticales, dispuestos paralelamente entre sí, por tubos de mayor diámetro llamados distribuidores. Posee depósitos de 150 hasta 300 litros y comercialmente presentan una eficiencia promedio del 50% que depende principalmente del factor de pérdidas que se tenga durante su funcionamiento (*PROCALSOL 2007*)^{xxx}, (véase figura 9).



Figura 9 Calentador solar plano Fuente: www.alfasolar.com.mx

1.3.2.2 CALENTADOR SOLAR DE TUBOS EVACUADOS.

El calentador solar de tubos evacuados tiene una mayor capacidad para obtener temperaturas superiores en comparación a la tecnología de colectores planos, y al poseer un conjunto de tubos al vacío reduce en forma considerable las pérdidas del calor al ambiente, incrementando por tanto la eficiencia térmica del colector.

Los colectores de tubos evacuados tienen como componente básico un doble tubo cilíndrico de vidrio o metal. Comercialmente existen dos tipos de colector solar evacuado, en función de los materiales que lo constituyen: los de tipo vidrio-vidrio, y los de tipo vidrio-metal, también conocido como *tubo Sydney*. Uno de los tubos de vidrio actúa como superficie captadora y el otro como cubierta basado en el principio de los recipientes termos. El aire entre los tubos es parcialmente evacuado, de aquí su nombre. La principal ventaja del captador evacuado es que el vacío reduce las pérdidas del calor e incrementa el rendimiento térmico del colector, en consecuencia se requiere menor área de captación solar y funciona a temperaturas más elevadas (60 a 100° C) (*Pilatowsky 2009*). Este vacío no solo contribuye a la reducción de pérdidas, sino también a minimizar la influencia de las condiciones climáticas (condensación, humedad) sobre los

materiales empleados, evitando su rápido deterioro y mejorando así su durabilidad y el rendimiento global los tubos evacuados se alinean paralelamente.



Figura 10. Calentador solar de tubos evacuados, fuente: www.e3solar.com

1.3.2.3 CICLO DE VIDA DE LOS CALENTADORES SOLARES

En la literatura, existen diversos estudios sobre análisis de ciclo vida de los calentadores solares de agua. (Mirasgedis et al., 1996; Taborianski y Prado, 2004; Tsillingirides et al., 2004, entre otros). Un reciente estudio de Kalogirou (2008)^{xxxii}, nos presenta el análisis de ciclo de vida de un CSA con un sistema de respaldo eléctrico y a diesel. En resumen indica que el periodo de recuperación energética de ambos sistemas es de 2.7 y 4.5 años respectivamente.

Además presenta los resultados ambientales del uso de CSA con respaldo eléctrico y a diesel, frente a un sistema convencional, es importante notar que los beneficios ambientales rondan en el 70% en promedio (véase 2 y 3).

CSA con un sistema de respaldo eléctrico				
Emisiones	Unidad	Convencional	CSA	Beneficios (%)
Dióxido de carbono (CO ₂)	tons/año	1.546	0.449	70.1
Monóxido de Carbono (CO)	g/año	374.6	109.7	70.7
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	g/año	56.3	16.3	71.1
Oxido Nitroso (N ₂ O)	g/año	6.3	2.1	66.7
Metano(CH ₄)	g/año	9.3	2.7	71
Hidrocarburos	g/año	37.7	11	70.8
Óxido de azufre (SO ₂)	g/año	562.7	164.5	70.8
Partículas Solidas	g/año	188.1	54.8	70.9
Ahorros GEI	%	–	–	70.3

Tabla 2. Impacto ambiental del uso de un CSA con respaldo eléctrico frente a un sistema convencional. Fuente: Kalogirou (2008),

CSA con un sistema de respaldo a diesel				
Emisiones	Unidad	Convencional	CSA	Beneficios (%)
Dióxido de carbono (CO ₂)	tons/año	0.889	0.293	67.1
Monóxido de Carbono (CO)	g/año	1688	581.3	65.6
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	g/año	1636	544.8	66.7
Oxido Nitroso (N ₂ O)	g/año	6.1	1.2	80
Metano(CH ₄)	g/año	13.6	3.3	75.7
Hidrocarburos	g/año	52.7	12.9	75.5
Oxido de azufre (SO ₂)	g/año	651.4	169.9	73.9
Partículas Solidas	g/año	180	73.5	59.2
Ahorros GEI	%	–	–	70.5

Tabla 3. Impacto ambiental del uso de un CSA con respaldo a diesel frente a un sistema convencional. Fuente: Kalogirou (2008).

1.4 BENEFICIOS AMBIENTALES Y ECONÓMICOS DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR

El uso de la energía solar en particular la solar térmica y fotovoltaica ofrece ventajas considerables comparadas con las fuentes convencionales de energía que en su gran mayoría proviene de hidrocarburos. Ya que se puede considerar como una energía gratuita, sin necesidad de transformaciones químicas o físicas complejas. En general los beneficios medioambientales y económicos derivados del uso de la energía solar se pueden resumir en los siguientes:

Desde un punto de vista medioambiental, el uso de la energía solar tiene varias implicaciones positivas que incluye (Various, 2000)^{xxxii}:

- El aspecto más importante sobre la energía solar es que no produce gases efecto invernadero durante la generación de energía eléctrica o térmica al utilizar un SFV o CSA.
- No produce ruido durante la generación de energía eléctrica o térmica.
- Recuperación de espacio sin utilizar (por ejemplo, techos de la vivienda).
- Reducción en las necesidades de líneas de transmisión dentro de la red eléctrica (uso paneles fotovoltaicos).

Los beneficios económicos incluyen:

- Incremento regional y nacional en la independencia energética.
- Creación de oportunidades de empleo.
- Desarrollo industrial nacional y técnico científico.
- Diversificación y seguridad de suministro de energía.
- Aceleración en la electrificación de comunidades rurales aisladas.
- Mínimo mantenimiento, frente a otras formas de producción de energía.

Cabe señalar que el uso de tecnología para aprovechar la energía solar no puede evitar un cierto impacto en el medio ambiente si se toma en consideración el ciclo de vida de los SFV y CSA. Los aspectos ambientales negativos del uso de la energía solar incluyen:

- Generación de GEI como CO_2, SO_2, NO_x en la producción, transportación, instalación, mantenimiento, y destrucción de los sistemas. El Impacto de estas emisiones varía según el lugar, y se consideran menores que aquellas producidas por el uso de combustibles fósiles. (Tsoutsos et al, 2005)^{xxxiii}, Raugei et al (2009).
- Ruido durante la construcción (Tsoutsos et al, 2005). Hay que considerar que todo tipo de actividad de construcción genera ruido. La industria genera programas y auditorías bajo la norma ISO14000 para la optimización de las áreas laborales ya que la fabricación de estos sistemas genera puestos de trabajo.
- Desplazamiento de espacio disponible.
- Obstrucción visual.

En la literatura son notables los estudios que se han enfocado en la solución de los aspectos negativos del uso de la energía solar. (Tsoutsos et al, 2005), (Kalogirou 2004)^{xxxiv}, (Varun et al, 2009)^{xxxv}, (Raugei et al 2009), (ASIF 2010), (AIE 2006), entre otros, donde en general se estudian nuevos métodos más eficientes de producción de sistemas y tecnologías de la energía solar, así mismo la investigación del ciclo de vida de dichas tecnologías comparado contra fuentes convencionales de energía.

1.5 EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL MUNDO

Según un estudio publicado en 2007 por el Consejo de Energía Mundial (WEC)^{xxxvi}, para el año 2100 el 70% de la energía consumida será de origen solar. Y según informes de Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial estimada para el 2030^{xxxvii}

Como se menciona en párrafos anteriores el uso o aprovechamiento de la energía solar puede ser dividido en el uso directo del calor irradiado (energía solar térmica) así como su conversión a electricidad por medio de sistemas fotovoltaicos (energía solar fotovoltaica).

1.5.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Hoy en día, una de las tecnologías de la energía solar más reconocida es la de los sistemas fotovoltaicos. Aunque ciertamente es la más costosa de las tecnologías solares en términos de su producción energética, es la más versátil, una de las más simple de instalar y la más barata de mantener; además proporciona un producto altamente apreciado "la electricidad" generalmente en el lugar de la instalación, o cerca del punto de uso final, evitando el costo y el riesgo de falla en la infraestructura.

A nivel mundial la producción de electricidad por sistemas fotovoltaicos es pequeña en comparación contra otras fuentes convencionales, pero posee un alto y rápido crecimiento. La producción y uso de los SFV es una industria que está creciendo mundialmente con un ritmo asombroso. La Agencia Internacional de Energía (IEA 2009)^{xxxviii} estima que para el 2030 se alcanzará una producción de 280TWh siendo que en el 2007 solo se generaron 4TWh. Lo que sugiere un crecimiento de 70 veces el mercado actual en los próximos 20 años.

Otro reporte de esta misma agencia: "Programa de los Sistemas de Energía Fotovoltaica" (IEA-PVPS 2008); Error! Marcador no definido. que abarca a los países de la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCED) menciona que solo en el 2008 se instaló una capacidad en SFV de aproximadamente 5.56 GW (un aumento de más del 150% en comparación a lo instalado en el 2007) lo que resulta en un capacidad total acumulada de 13.4 GW (véase figura 11). La mayor proporción de esta nueva capacidad instalada en el 2008 (el 75%) se realizó en España y Alemania con 2.7GW y 1.5 GW respectivamente. En menor medida Italia (3.3 MW), los Estados Unidos (2.9 MW), Corea (2.7 MW) y Japón

(2.24 MW). A partir de estos datos podemos ver que cerca del 96% de las instalaciones de sistemas fotovoltaicos para el 2008 se dieron en tan solo seis países todos ellos de la OECD.

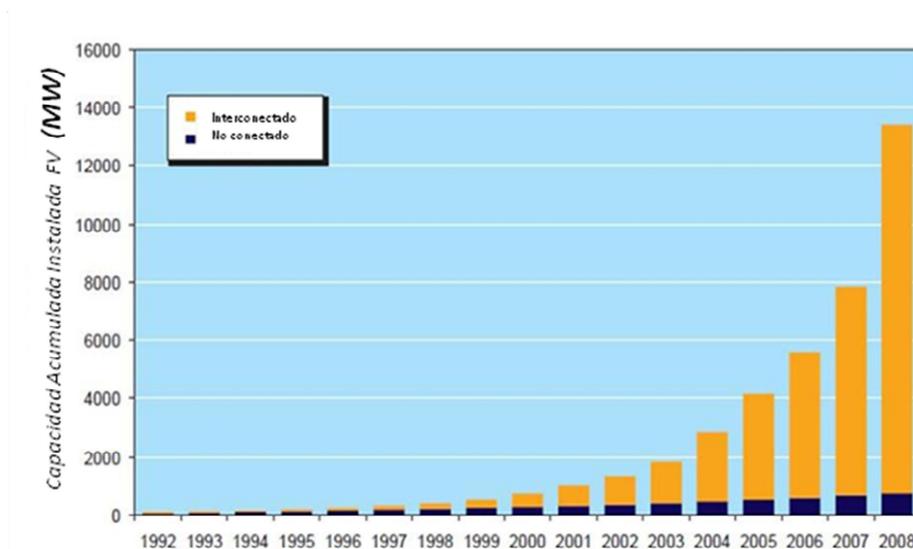


Figura 11. Capacidad instalada acumulada sistemas fotovoltaicos, fuente IEA PVPS 2008

Los sistemas fotovoltaicos se pueden dividir entre interconectados a la red y no conectados. Los sistemas interconectados pueden dividirse en centralizados y distribuidos, refiriéndose al tipo de usuario: comercial y privado residencial respectivamente, y los sistemas no conectados se dividen en aplicaciones domésticas y no domésticas.

Dentro de los países de la OCED los sistemas interconectados a la red aumentaron dramáticamente durante el 2008, se estima que hubo una instalación de 5.4 GW, esto gracias a diversos programas que han fomentando este tipo de tecnología. Actualmente existe un acumulado 12.7 GW para los sistemas interconectados lo que representa el 94.5% del total de la capacidad instalada mundial (véase figura 12).

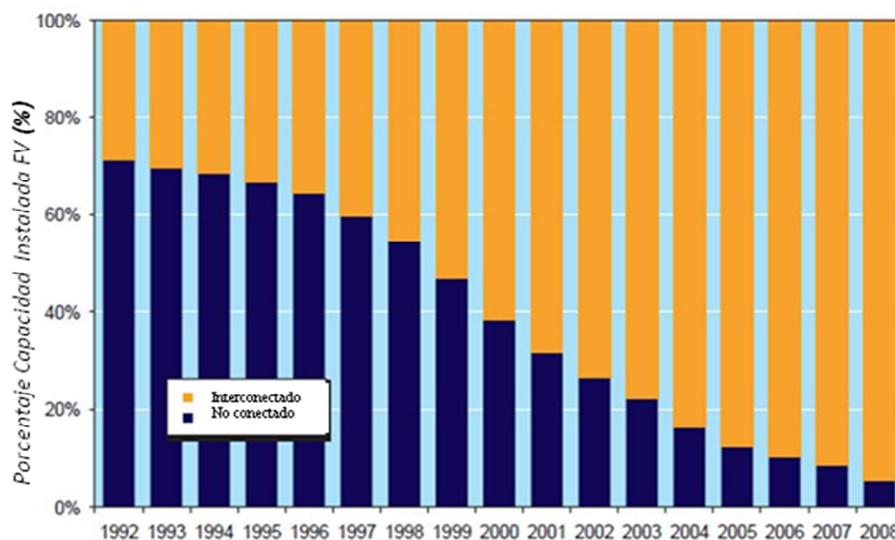


Figura 12. Distribución porcentual total de Sistemas FV en los países de la OCED, fuente IEA PVPS 2008

Es importante notar que tan solo una década atrás, la capacidad instalada interconectada y no conectada estaba dividida en partes similares.

El mercado para sistemas no conectados como son las casas de recreo fuera de la ciudad, electrificación en el sector rural, telecomunicaciones, y diversas otras aplicaciones continúa creciendo, aproximadamente entre un 10-15% anualmente, pero nada comparado al alto crecimiento que han reportado los sistemas interconectados, gracias en su mayor parte a los programas de fomento que diversos gobiernos han implementado. Por ejemplo, en Alemania diversos gobiernos estatales y el banco federal KfW otorgan préstamos para la compra de equipos FV interconectados a la red, tanto a privados como a comunidades; a nivel federal desde varios años se utiliza un esquema de tarifa llamado "Feed-In", el cual establece una obligación legal de las empresas de adquirir electricidad generada con fuentes renovables a una tarifa preestablecida favorable.

Otro país europeo a notar es España que tuvo un fuerte crecimiento del 500% en relación a su capacidad instalada en el 2007, resultado que obtuvo también gracias al uso del esquema de tarifa de tipo "Feed-In", y donde actualmente los sistemas interconectados representan el 99% de la capacidad instalada de SFV.

Estados Unidos presentó un crecimiento del 64% en relación a su capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos del año 2007. En este país los sistemas fotovoltaicos interconectados representaron el 87% (293MW) y los no conectados el 13%(45MW). Uno de los factores principales para este crecimiento fue el apoyo e incentivos a empresas y consumidores para instalar SFV utilizando créditos y subsidios fiscales.

1.5.2 CALENTADORES SOLARES DE AGUA

El calentamiento solar de agua difícilmente puede considerarse como una nueva tecnología, pero aún con el rápido crecimiento que está experimentando en China, Estados Unidos, y Europa éste aún se halla corto de su pleno potencial. Los calentadores de agua de gas y eléctricos son cómodos y técnicamente simples, pero al utilizar un combustible fósil con alta capacidad de combustión, o energía eléctrica sólo para calentar agua, casi todo el potencial de trabajo termodinámico de esos energéticos se pierde y bien podría ser utilizados en un uso económico más eficiente y productivo.

Un estudio por parte de la Agencia Internacional de Energía sobre calentadores solares de agua (IEA-SHC 2009)^{xxxxix}, reporta que para el año 2007 entre los 49 países más industrializados del mundo (lo que representan el 85-90% del mercado de calentadores solares a nivel mundial) existía una capacidad instalada de calentadores solares de agua de aproximadamente 209.7 millones de m² lo que representaba 120.5 GWth.

Dentro de los países o regiones en el mundo existen grandes diferencias en la proporción de la capacidad instalada de esta tecnología solar. La capacidad instalada más grande la tiene China (80 GWth) y representa el 67% del total mundial, mientras que, por ejemplo, capacidad instalada de Estados Unidos representa el 17.5% (21.2 GWth), Europa el 13% (15.9 GWth) y Japón el 4% (4.9 GWth) (véase figura 13).

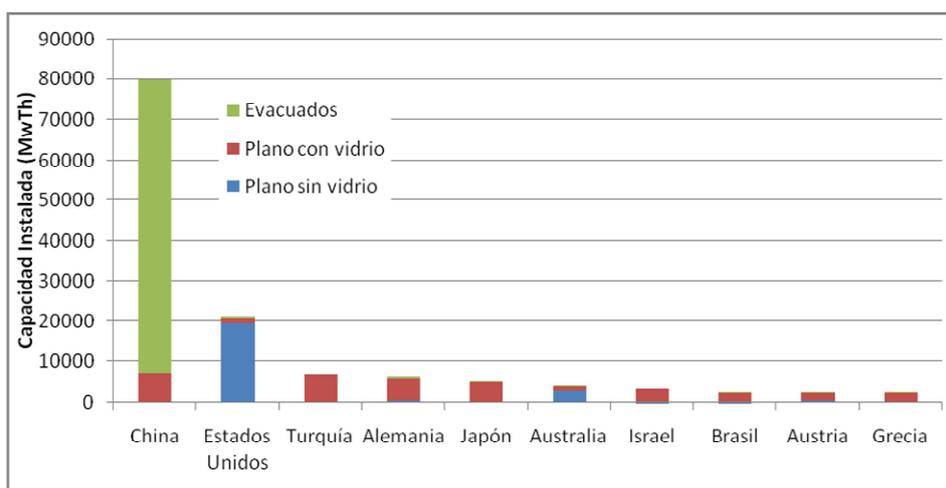


Figura 13. Capacidad instalada de calentadores solares de agua de los 10 principales países a finales de 2007, fuente: elaboración propia con datos de IEA-SHC 2009

Cabe mencionar que el mercado de calentadores solares en China está dominado por tubos evacuados, mientras que en otros mercados predominan los calentadores solares planos. Otros mercados en el 2007 con una cantidad significativa de tubos evacuados fueron Alemania, Italia, Polonia, Estados Unidos e Inglaterra.

Ahora independientemente si es agua para ducha o para alberca es importante notar el alto porcentaje que ocupan los sistemas domésticos para viviendas unifamiliares ya que 46 de los 49 países evaluados en este reporte de la IEA, poseen un porcentaje superior al 90% del total de su capacidad está instalada en viviendas unifamiliares.

1.6 ENERGÍA SOLAR EN EL SECTOR RESIDENCIAL EN EL MUNDO

El aprovechamiento de la energía solar en el sector residencial a nivel global en el caso específico de las dos tecnologías tratadas en esta tesis (sistemas fotovoltaicos y calentadores solares) ocupa un amplio porcentaje dentro de la capacidad total instalada.

Los sistemas fotovoltaicos instalados en el sector residencial representan el 64% (8.5GW)⁹ del total mundial instalado, mientras los calentadores solares para viviendas unifamiliares y multifamiliares representan el 93% (136 GW_{th})¹⁰ del total de calentadores instalados a nivel mundial. En consecuencia el sector residencial representa un gran potencial para el uso de la energía solar sobre todo si se considera un crecimiento considerable en su consumo energético de acuerdo al reporte de la IEA (2009)^{xxxviii}, producto del envejecimiento de la población y de la reducción del tamaño de los hogares.

⁹ Se considera la suma de un 2% (0.3 GW) sistemas no conectados domésticos y un 62% (8.2 GW) sistemas interconectados descentralizados, con datos del reporte IEA-PVPS 2009, para 21 países de la OCDE

¹⁰ Se considera que el 93% de la capacidad total instalada corresponde a calentadores solares para el sector doméstico, incluyendo su uso final tanto para calentamiento de agua para duchas o para piscinas.

1.7 INICIATIVAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS EN EL MUNDO PARA FOMENTAR EL USO DE LA ENERGÍA SOLAR.

A medida que aumenta la preocupación por las cuestiones climáticas y de suministro energético, va creciendo el apoyo de los gobiernos al desarrollo de las energías renovables, entre ellas la energía solar. Para el fomento del uso de la energía solar en las últimas décadas se han generado políticas locales, nacionales e internacionales, así como la creación de normas y códigos con fines de regular el mercado de los SFV y los equipos de CSA.

1.7.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para los SFV en estos últimos años, en particular el 2008, ha sido claro el empuje que genera el uso de tarifas "Feed-In", este ha sido un mecanismo que promueve un fuerte crecimiento de SFV interconectados a la red.

En la siguiente tabla 4 se representan las iniciativas y políticas a nivel global que en particular se usan para el fomento de los sistemas fotovoltaicos:

<i>Mecanismos de fomento SFV</i>	<i>Definición</i>
Tarifas "Feed- In"	Recompensa monetaria que es prevista para productores de electricidad con SFV; pagado generalmente por los consumidores finales o las compañías distribuidoras de electricidad a una tarifa superior por kWh a la tarifa de mercado. Este mecanismo se acompaña usualmente de una obligación de compra en un período específico (generalmente 20 años)
Subsidios directos de capital	Subsidios financieros directos al costo inicial de un SFV.
Esquemas de Electricidad Verde	Permite a los productores con energía renovable obtener un beneficio económico adicional producto de la venta de certificados verdes que representa su producción renovable.
Esquemas de Electricidad Verde específicos para SFV.	Permite a los productores con SFV obtener un beneficio económico adicional producto de la venta de certificados verdes que representa su producción solar.
Portafolio Estándar de Renovables (RPS)	Un requisito mandatorio donde la compañía de electricidad (usualmente el productor minorista) proporciona una cuota de electricidad renovable (normalmente por una amplia gama de tecnologías de bajo costo favoreciendo la hidroeléctrica, el viento y la biomasa)
Requerimientos de SFV en RPS	Un requisito mandatorio en la compañía de electricidad donde una proporción de la RPS o cuota es generada por SFV (usualmente llamado "set-aside").
Fondos de inversión para SFV	Ofrecimiento de fondos privados para inversión en SFV, enfocados en la creación de negocios rentables a partir del uso de SFV para la producción de energía eléctrica.
Crédito de impuestos (disminución de impuestos)	Permite que algunos o todos los gastos relacionados con la instalación de SFV sean deducidos de impuestos.
Net Metering	El propietario del SFV recibe un beneficio por el exceso de electricidad que alimente a la red eléctrica, medible con un medidor bi-direccional y compensado durante un período dado de facturación.
Net Billing	La electricidad tomada de la red eléctrica y la electricidad alimentada a la red son medidas separadamente, donde la electricidad alimentada a la red es valuada a un precio diferente al de la tarifa eléctrica de la red.
Apoyos de bancos comerciales	Preferencias crediticias de instituciones bancarias, como por ejemplo: una hipoteca a tasa preferencial, para un usuario que desea adquirir una vivienda con un SFV o CSA
Apoyos a compañías generadoras de electricidad	Permite a las compañías generadoras de electricidad implementar esquemas de "energía verde", en los que se ofrece a clientes adquirir electricidad verde, producida a gran escala por medio de SFV centralizados, o en pequeña escala por medio de la producción distribuida con SFV.
Requerimientos de Edificios Sustentables	Incluye los requerimientos de construcción de nuevos edificios (residencial y comercial) y eventualmente propiedades particulares, para incluir el uso de los SFV, como una opción para reducir el consumo energético del edificio y sus emisiones de GEI, o puede ser específicamente mandatorio como una inclusión para el desarrollo del edificio.

Tabla 4 Mecanismos más comunes para el fomento de sistemas fotovoltaicos. Fuente: IEA-PVPS (2008)

Ahora, es también importante mencionar que las políticas e incentivos difieren en cada país, el estudio de la IEA-PVPS 2008), nos presenta una comparación de las políticas usadas en cada uno de los países de la OCDE (véase tabla 5).

Mecanismos de fomento sistemas FV	Australia	Austria	Canadá	Suiza	Dinamarca	Alemania	España	Francia	Inglaterra	Israel	Italia	Japón	Korea	México	Malasia	Holanda	Noruega	Portugal	Suecia	EE.UU.	
Tarifas "Feed- In"																					
Subsidios directos de capital																					
Esquemas de Electricidad Verde																					
Esquemas de Electricidad Verde específicos para FV.																					
Portafolio Estándar de Renovables (RPS)																					
Requerimientos de FV en RPS																					
Fondos de inversión para FV																					
Crédito de impuestos (disminución de impuestos)																					
Net Metering																					
Net Billing																					
Apoyos de bancos comerciales																					
Apoyos a compañías generadoras de electricidad																					
Requerimientos de Edificios Sustentables																					

Tabla 5, Mecanismos de fomento sistemas FV, por país. Fuente: IEA-PVPS 2008

En el 2008 se observó que los países con mayor capacidad instalada a nivel global: España y Alemania, basaron mucho de su crecimiento en sistemas interconectados a la red promoviendo el uso del mecanismo Tarifas "Feed-In".

En España el alto crecimiento de los CSA y los SFV, particularmente en edificios, fue impulsado en buena medida gracias a la utilización del Código Técnico de la Edificación (CTE), que fue implementado desde el 2006, y en donde se establecen los requisitos obligatorios en la construcción de nuevos edificios. En una sección se regula la incorporación de la energía solar térmica y fotovoltaica, promoviendo de esta manera la instalación de CSA y SFV en nuevos edificios comerciales (hipermercados, hoteles, diversos centros de ocio), gubernamentales, multiviviendas, hospitales entre otros. En esta normativa se establecen también las normas para el dimensionado, instalación y el cálculo de los múltiples elementos de este tipo de instalaciones: pérdidas por sombreado, protección contra heladas, contra sobrecalentamientos, vasos de

expansión, bombas (para el caso de CSA). Y pérdidas por sombreado, inversores, medidas de seguridad y protección (para el caso de FV)¹¹.

En Alemania desde el 2009, los propietarios de los nuevos SFV son ahora legalmente obligados a registrar sus sistemas en la agencia de electricidad alemana. Sólo los sistemas registrados reciben apoyo en el esquema de tarifas *feed-in*. Además del esquema tarifas *feed-in*, en Alemania existen otros apoyos como los créditos de impuestos por parte de autoridades locales, apoyos por parte del banco nacional KfW y diversos gobiernos estatales del país, que proveen créditos para los inversionistas tanto a nivel comercial, comunitario o residencial que estén interesados en adquirir SFV.

En Estados Unidos la legislación Federal de Inversión y Crédito Fiscal (ITC) tuvo un gran impacto en el mercado de FV durante 2008, por lo que EE.UU. presenta un mercado considerable de SFV. Otro factor importante en el fomento del mercado de FV, fue la Iniciativa Solar Americana (SAI)¹² por parte del departamento de energía (DOE), con un fondo de \$148 millones de dólares, y que brinda financiamiento y asistencia técnica a las ciudades, los estados y organismos federales para aplicaciones de FV. Esto incluye instalaciones de más de 100 kW. SAI tiene como meta fomentar y acelerar el uso de SFV en diversas ciudades de EE.UU y convertirla en la mejor opción costo-beneficio para la producción de electricidad frente a otras fuentes de energía renovable para el 2015. Para esto se pretenden construir alianzas con fines de desarrollo tecnológico y fomento entre universidades, la industria, gobierno federal y estatal y agencias no gubernamentales.

1.7.2 CALENTADORES SOLARES

El caso de calentadores solares es muy similar al de sistemas fotovoltaicos, ya que muchas políticas de subsidios y créditos son aplicadas bajo los mismos esquemas. Un estudio reciente *de Roulleau et al (2008)* menciona que las políticas particulares para el fomento de calentadores solares se pueden dividir en:

- Subsidios para calentadores solares basados en su tamaño.
- Subsidios para calentadores solares basados en su desempeño
- Crédito de impuestos (disminución de impuestos)
- Deducción de impuestos
- Políticas obligatorias

SUBSIDIOS

Los subsidios representan el caso más común para fomentar el uso de la energía solar térmica. Los calentadores solares han sido subsidiados en muchas regiones y países como Austria, Alemania, Suecia, Holanda y Australia. En general el tipo de subsidio es similar pero puede conducir a resultados diferentes en cada región. En la mayoría de los casos los subsidios están relacionados con el área del colector o su desempeño.

SUBSIDIOS POR EL TAMAÑO DE COLECTOR

Alemania y Austria han ofrecido generosos subsidios relacionados a este tema. Estos subsidios han sido muy exitosos en términos de incrementar la penetración de los calentadores solares, los cuales representan los

¹¹ <http://www.sitiosolar.com/Nuevo%20CTE.htm#TERMAPLICA> consultado Junio 2010.

¹² <http://www.sandia.gov/SAI/> consultado Junio 2010.

porcentajes más altos de capacidad en Europa (600m² por cada 1000 habitantes en Austria y 82 m² por cada 1000 habitantes en Alemania).

Austria tiene casi 30 años con programas de subsidios. Uno de los objetivos oficiales de estos subsidios es doblar la capacidad instalada a cerca de 1 millón de m² para el 2010. En el 2007 el subsidio básico consistía en 1,100 euros más 75 euros por cada m² para calentadores solares planos y 110 euros m² para tubos evacuados. El total del subsidio no podía exceder los 3,000 euros por equipo. Lo que hacía que el subsidio fuera de un 20% a un 50% del costo total del equipo.

Por otra parte en Alemania, los subsidios a los equipos de calentadores solares empezaron en 1995 bajo el programa "100-millones DM". En 1999 el gobierno alemán, lanzo un programa de estimulación al mercado de la energía renovable (donde aplicaba el aprovechamiento de la energía solar térmica), en el cual un usuario podría conseguir un subsidio de aproximadamente 105 euros por cada m² en el 2005. La meta oficial del subsidio era doblar la capacidad instalada de calentadores solares del 2002 al 2006. El área solar no se duplico pero se incremento de una capacidad instalada en el 2002 de 4.35 millones de m² a 7.75 millones de m² en el 2006.

En general la política de subsidios alemana genero buenos resultados en sus 12 años de duración y fueron necesarios aproximadamente 740 millones de euros en fondos para llevar a cabo este programa.

SUBSIDIOS PARA CALENTADORES SOLARES BASADOS EN SU DESEMPEÑO

Los ejemplos anteriores correspondientes a los subsidios por el tamaño del equipo son estrategias que conducen a la expansión del número de equipos de calentadores domésticos, pero no indica si los sistemas están trabajando bien y con los mejores rendimientos térmicos. En lugar de subvencionar únicamente en términos del equipo, por su área, algunos países han desarrollado esquemas en función al desempeño de los equipos, e.g., Australia, Holanda y Suecia. La dificultad aquí es como medir el desempeño de los sistemas sin monitorear individualmente los equipos. En este punto los SFV ofrecen una ventaja considerable debido a la facilidad de medir su rendimiento, es decir, la salida de energía eléctrica o potencia eléctrica generada. La medición de una potencia térmica es mucho más difícil de medir confiablemente.

Suecia

A pesar que su insolación anual es pequeña en comparación con otros países europeos, empezó con esquemas de subsidios a la energía solar térmica en 1992, pero se abandonaron en 1997, después de dos años surgió un nuevo esquema basado en el desempeño de los sistemas que sigue funcionando hoy en día. Este esquema proporciona un apoyo de 0.27 euros por cada kWh/anual suministrado a una temperatura de 50°C. Un ejemplo utilizando este esquema proporcionaría un apoyo de 110 euros por cada m² a un sistema que suministra 400kWh anuales. La salida del suministro del colector es calculado con un programa de simulación que utiliza ecuaciones básicas solares.

Holanda

En 1988, el gobierno holandés lanzó un plan de subsidios basado en el tamaño del colector. Esta política llevó a algunos efectos negativos (colectores más grande y a veces con un mal desempeño recibían mayor apoyo), el régimen se cambio en 1995 a un esquema de subsidio basado en desempeño.

En este esquema el subsidio dependía del rendimiento térmico de los sistemas: los sistemas cuyo rendimiento térmico rondaba entre 2 y 3 GJ por año, era apoyado con un subsidio de 455 euros y en cambio sistemas con un rendimiento térmico más alto de 3 GJ por año se les apoyaba con cerca de 700 euros.

CRÉDITO DE IMPUESTOS (DISMINUCIÓN DE IMPUESTOS)

Estos créditos permiten que algunos o todos los gastos relacionados con la instalación de un equipo de calentador solar sean deducidos de impuestos, un ejemplo sería el caso de Francia, ya que a partir del 2001 el 15% del costo de capital podría ser deducido de los impuestos que el consumidor tendría que pagar. En el 2004 y después en el 2005 estos créditos aumentaron en un 40% y 50% respectivamente, sin embargo, los consumidores se beneficiaban de este crédito un año después de la compra del equipo, por lo que podría considerarse un impacto adverso en la efectividad del esquema. Aun así en el 2006 Francia tenía el mercado solar más subsidiado en Europa ya que se obtenía un subsidio del 50% del costo total del equipo por lo que actualmente Francia es uno de los países con mayor capacidad instalada en este rubro.

DEDUCCIÓN DE IMPUESTOS

Otro ejemplo es el de Grecia. Este país, empezó con el programa de deducción de impuestos desde 1970 y hasta 1991, la deducción máxima fue de un 40% del costo total del equipo, En 1991 se abandono el programa, pero se volvió a tomar en 1995 con una deducción máxima de un 75% de los costos de inversión de los impuestos por los ingresos generados del comprador del CS. Para el año 2002 el gobierno considero que el mercado de CS había alcanzado un tamaño crítico y era capaz de mantenerse sin la deducción de impuestos, por lo que se abandono el esquema. Este programa de deducción de impuestos en Grecia ha sido juzgado por ser muy exitoso al menos durante los primeros años. Sin embargo, esa política tiene un problema considerable de equidad, ya que las personas que pagan más impuestos (la parte más rica de la población) obtenían la reducción de costos más alta.

POLÍTICAS OBLIGATORIAS

Aun y cuando se ha demostrado la efectividad de los subsidios y las deducciones de impuestos, existen países que manejan políticas más duras y obligatorias para el uso de CSA, algunos de estos casos son Israel y España

Israel

El gobierno de Israel tomo como medida obligatoria el uso de calentadores solares desde hace 30 años, y ya en el 2006 casi cada vivienda en Israel contaba con un CS. Fue una política radical pero muy exitosa, gracias a que el gobierno decidió aprovechar el alto índice de radiación solar con el que cuenta el país.

España

Este país que cuenta con un alto índice de radiación solar inició una política obligatoria a principios de 1990. En Barcelona se aprobó la primera ley de uso de calentadores solares en 1999, la cual se hizo obligatoria en Agosto del 2000, afectaba a los edificios o construcciones nuevas tanto públicas como privadas residenciales que tuvieran un consumo superior de agua caliente a 292MJ (un consumo promedio anual). Madrid por su parte, genero una ley similar a partir de noviembre del 2003, donde se obligaba a las construcciones o edificios nuevos proporcionar entre 60% y 75% del consumo diario de agua caliente por medio de calentadores solares, y un 60% para las albercas. Entre noviembre del 2003 y diciembre del 2005 se llegaron a instalar un poco más de 28mil m² de calentadores solares en Madrid.

SIN INCENTIVOS FINANCIEROS

El fomento de la energía solar también se puede lograr sin incentivos y en donde el mercado define el esquema. Varios países en el mundo siguen esta política. Un ejemplo contundente es China, el país con el mayor mercado de CSA en el mundo.

En China, no existe un instrumento nacional de fomento para el consumidor, salvo algunas ciudades como Haining donde el gobierno local subsidia una tercera parte del costo del CSA y en la provincias de Yiwu y Jiangshan en el cual cada familia obtiene un subsidio de 500 y 300 yuanes respectivamente (73 y 46 usd aproximadamente) por los gobiernos locales (Han et al, 2009)¹³. Solo la investigación en las universidades y proyectos de demostración han sido apoyados por parte del gobierno. China, tiene un abundante recurso solar, el uso de CSA en este país se remonta desde 1970, pero en las últimas décadas ha tenido un gran incremento debido a la presión de la escasez de combustibles fósiles, la contaminación ambiental y los bajos costos de los equipos¹³

En la siguiente tabla 6 se presenta el sumario de las experiencias internacionales de incentivos a calentadores solares.

<i>País</i>	<i>Mecanismos de fomento</i>
Alemania	Subsidios para calentadores solares basados en el tamaño
Austria	Subsidios para calentadores solares basados en el tamaño
Suecia	Subsidios para calentadores solares basados en el desempeño
Holanda	Subsidios para calentadores solares basados en el tamaño y desempeño (abandonado en el 2003)
Australia	Subsidios para calentadores solares basados en el tamaño y desempeño
Francia	Crédito de impuestos y subsidios
Grecia	Deducción de impuestos (abandonado en el 2002)
España	Políticas obligatorias
Israel	Políticas obligatorias
China	Sin incentivos

Tabla 6. Mecanismos de fomento CSA por país. Fuente: Roulleau, T, C.R. Lloyd (2008)

¹³ En el 2009 se registraron más de 5000 fabricantes de CSA en China, la mayoría de los cuales están limitados en capacidad de producción y calidad del producto. Para poder sobrevivir la intensa competencia, venden sus productos a precios bajos, resultando en una perturbación del mercado (Han et al, 2009)

CAPÍTULO 2 - EL CONSUMO ENERGÉTICO Y LA ENERGÍA SOLAR EN SECTOR RESIDENCIAL EN MÉXICO

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta un análisis del sector residencial en México, sus definiciones y usos energéticos, así como el papel que representa el aprovechamiento de la energía solar en este sector.

Para comenzar es importante definir los principales conceptos. El "sector residencial" según la EPA (La Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos), se define como el área o segmento compuesto solo de viviendas^{xli}. Entendiéndose el término "vivienda" como el lugar delimitado por paredes y cubierto por techos con entrada independiente, donde generalmente las personas comen, preparan alimentos, duermen y se protegen del ambiente^{xlii}. Por otra parte el concepto de "hogar" se define como la unidad formada por una o más personas unidas o no por lazos de parentesco que residen habitualmente en la misma vivienda y se sostienen mediante un gasto común para la alimentación. Los hogares se clasifican, en familiares y no familiares, y al interior de éstos, según su clase, en: ampliados, compuestos y nucleares; y de corresidentes y unipersonales; respectivamente (CONAPO 2008)^{xliii}.

Según diversos estudios (C.Sheinbaum et al, 1995), (SENER 2008) el sector residencial es uno de los principales consumidores de energía en nuestro país, ocupando en el 2008 casi el 15 % del consumo final total de energía (SENER 2008).

Otros estudios prevén un posible crecimiento socioeconómico que impactaría el consumo energético en dicho sector. Podríamos mencionar la prospectiva de crecimiento de viviendas (2% anual) en el periodo 2005-2050 de CONAPO (2008) y la tendencia de crecimiento (2% anual) en el ingreso corriente trimestral de INEGI-ENIGH (2008)^{xliiv},. Sumado a esto, existen estudios nacionales prospectivos enfocados en los combustibles comerciales, como: el gas natural, gas LP y electricidad 2009-2024 de la SENER^{xlv xlii xliii}, que mencionan en particular un posible crecimiento en el consumo de gas natural y electricidad de 3% y 3.9% respectivamente en los próximos 15 años; aun considerando un uso más eficiente de la energía proveniente de cambios de comportamiento en los hábitos de consumo e introducción de equipos más eficientes para calentamiento de agua y cocción de alimentos..

Conociendo esto es importante fomentar el uso de la energía solar en México, ya que es todavía muy incipiente y representa menos del 0.12% (5.6 PJ) del consumo final energético del país (SENER 2008). El sector residencial presenta muy pocos avances en el aprovechamiento de esta energía a pesar que su potencial es técnicamente ilimitado. Son pocos los programas nacionales como ya veremos que fomenten el uso extensivo de tecnologías que aprovechen la energía solar.

2.2 EL SECTOR RESIDENCIAL EN MÉXICO

En el estudio de CONAPO (2008) "Proyecciones de los hogares y las viviendas de las entidades federativas 2005-2050", se menciona que para el año 2010 existían en el país casi 27 millones de viviendas y se estimaba que para el 2030 deberían existir un poco más de 38 millones, lo que resultaría en la construcción de 11 millones de nuevas viviendas en un periodo de 20 años, representando un incremento de aproximadamente el 40%, frente a las viviendas reportadas en el 2010. (Véase tabla 5). Los ocupantes por vivienda pasarían de tener un promedio de 4 en el 2010 a tan solo 2.77 en el 2030.

Este estudio toma en consideración que cada vivienda es ocupada por 1.03 hogares y define cinco tipos de hogares mutuamente excluyentes y exhaustivos, es decir, que no comparten elementos en común. Los cinco tipos de hogares se aglomeran en dos grupos: los familiares, que incluyen los nucleares, extensos y compuestos; y los no familiares que cubren a los corresidentes y unipersonales. Los nucleares comprenden a una pareja (una pareja con hijos o persona sin cónyuge con hijos). Los extensos se refieren a una familia nuclear y otros parientes. Un hogar compuesto consiste de una familia nuclear con presencia de personas no emparentadas. Los hogares de corresidentes se componen de una persona sola, sin parientes, pero con al menos una persona que no es pariente. Hogar unipersonal se refiere a la persona que vive sola. En la siguiente tabla 7 se muestra el tipo de hogares que proyecta este estudio para el año 2050.

Año	Viviendas	Ocupantes	Total de hogares					
			Total	Nuclear	Extenso	Compuesto	Corresidentes	Unipersonal
2008	26,125,086	106,242,732	26,911,483	18,307,912	5,798,436	329,198	192,982	2,282,955
2010	27,294,756	107,946,843	28,116,121	19,038,217	6,085,764	339,436	203,266	2,449,438
2015	30,212,863	111,839,559	31,121,301	20,798,485	6,822,885	361,443	229,388	2,909,100
2020	33,061,322	115,274,622	34,054,400	22,430,931	7,558,740	376,950	254,913	3,432,866
2025	35,719,329	118,193,445	36,790,908	23,860,308	8,253,809	384,002	277,794	4,014,995
2030	38,053,202	120,419,848	39,193,231	25,000,294	8,872,740	381,941	297,978	4,640,278
2035	40,093,636	121,834,972	41,294,794	25,885,779	9,480,108	380,263	313,897	5,234,747
2040	41,740,203	122,416,414	42,990,690	26,488,251	9,977,816	372,518	329,306	5,822,799
2045	42,973,348	122,222,812	44,260,779	26,845,931	10,336,532	359,357	342,999	6,375,960
2050	43,768,332	121,325,058	45,079,580	26,978,684	10,538,407	341,495	354,239	6,866,755

Tabla 7 Proyección de Viviendas particulares, ocupantes y hogares a mitad de año según tipo, 2005-2050
Fuente: CONAPO (2008)

Para la elaboración de estas proyecciones socio demográficas las hipótesis adoptadas por CONAPO (2008) consideran la extrapolación de las tendencias pasadas. Esta forma de predecir la incidencia de los fenómenos demográficos y sociales conlleva el supuesto de que los cambios observados en el pasado, sobre todo en los años recientes, se reproducirán en el futuro previsible.

Si bien hay un aumento considerable en el número de viviendas, el gradiente de incremento disminuye conforme avanza el tiempo, como se puede ver en el siguiente gráfico 1. Esto debido a la dinámica de la población. Ya que este mismo reporte sugiere que las personas de 20 años o más, es decir, aquellas que en la etapa del ciclo vital que pueden encabezar un hogar, se acrecentarán en 44% del 2005 al 2030, incremento que dará cuenta de la mayor parte de la creación de 14 millones de nuevas familias y la necesidad de edificar las 12 millones de viviendas adicionales al inventario inmobiliario existente en el 2008.

Estas nuevas familias jugarán un papel muy importante en la situación socioeconómica del país, ya que siguiendo la hipótesis de extrapolar la tendencia de años pasados se puede asumir que la cantidad de hijos tendería a disminuir y el tiempo de vida de la población tiende a aumentar, por lo que el número de habitantes por hogar disminuye conforme al tiempo, lo que podría dar un poder adquisitivo más alto por familia. La situación socioeconómica se estudia en el siguiente apartado.

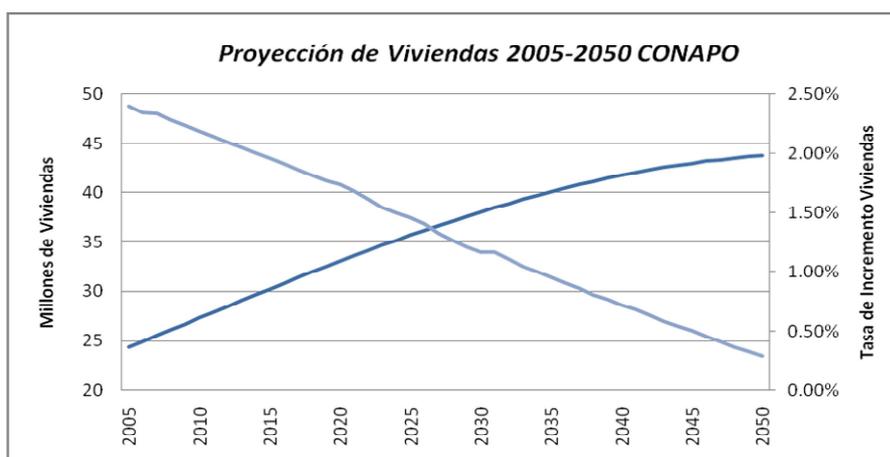


Gráfico 1. Proyecciones de los hogares y viviendas. Fuente: cálculos propios, CONAPO 2005 -2050

2.3 SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL SECTOR RESIDENCIAL EN MÉXICO

La situación socioeconómica del sector residencial en México es muy variada, un estudio que analiza este aspecto es la última encuesta nacional de "Ingresos y Gastos de los Hogares del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI-ENIGH 2008) donde se indica que en México para el año 2008 el ingreso promedio corriente trimestral de los hogares era de \$3,326 (USD 2007) reportando un aumento de casi el 10% en los últimos 8 años (véase tabla 8).

Esta encuesta divide a los hogares en "deciles" que básicamente consiste en dividir el total de hogares de México entre 10 de acuerdo a su ingreso corriente total monetario trimestral promedio. En el 2008 el decil con los más altos ingresos de la población percibió un ingreso corriente trimestral total mínimo de \$12,060 frente a los \$554 del primer decil. La diferencia entre el decil de la población con menor ingreso frente al de mayor ingreso es aproximadamente un factor de 22. Es de notar que en los últimos 8 años, el ingreso corriente promedio siguió una tasa media de crecimiento de 2%. Otro análisis de esta información nos indica que el reparto de ingresos no es equitativo en México, con un coeficiente de GINI¹⁴ en el 2008 de 0.457, lo que nos indica que la diferencia de ingresos ha empeorado comparada frente al 2006.

En la siguiente tabla se muestra el ordenamiento por deciles de los hogares mexicanos de los últimos 8 años.

¹⁴ El coeficiente de GINI es una medida de concentración del ingreso: toma valores entre cero y uno. Cuando el valor se acerca a uno, indica que hay mayor concentración del ingreso; en cambio cuando el valor del GINI se acerca a cero la concentración del ingreso es menor.

DECILES DE HOGARES ¹	AÑO DE LEVANTAMIENTO (USD 2007)					
	2000	2002	2004	2005	2006	2008
Promedio	\$3,036	\$2,971	\$3,070	\$3,155	\$3,381	\$3,326
I	\$462	\$490	\$508	\$518	\$603	\$554
II	\$805	\$868	\$904	\$925	\$1,044	\$969
III	\$1,098	\$1,162	\$1,220	\$1,238	\$1,374	\$1,305
IV	\$1,401	\$1,466	\$1,528	\$1,550	\$1,714	\$1,629
V	\$1,738	\$1,821	\$1,853	\$1,884	\$2,091	\$1,990
VI	\$2,161	\$2,210	\$2,261	\$2,322	\$2,520	\$2,448
VII	\$2,694	\$2,745	\$2,804	\$2,883	\$3,120	\$3,057
VIII	\$3,419	\$3,516	\$3,571	\$3,677	\$3,926	\$3,884
IX	\$4,857	\$4,866	\$4,944	\$5,040	\$5,355	\$5,365
X	\$11,726	\$10,563	\$11,113	\$11,515	\$12,063	\$12,060
COEFICIENTE DE GINI ²	0.480	0.453	0.455	0.458	0.446	0.457

Tabla 8 Ingreso corriente total promedio trimestral por hogar en deciles de hogares (USD 2005).
Fuente: INEGI-ENIGH 2008

En el siguiente grafico 2 se puede observar la alta desigualdad entre el decil X (la población de mayor riqueza), contra el promedio y/o los deciles V y I. Por lo que lo que es fácil notar la alta concentración de la riqueza en México en el ultimo decil. Los niveles de ingresos en estos últimos años se han mantenido casi constantes, con un pequeño incremento del 2% en promedio.

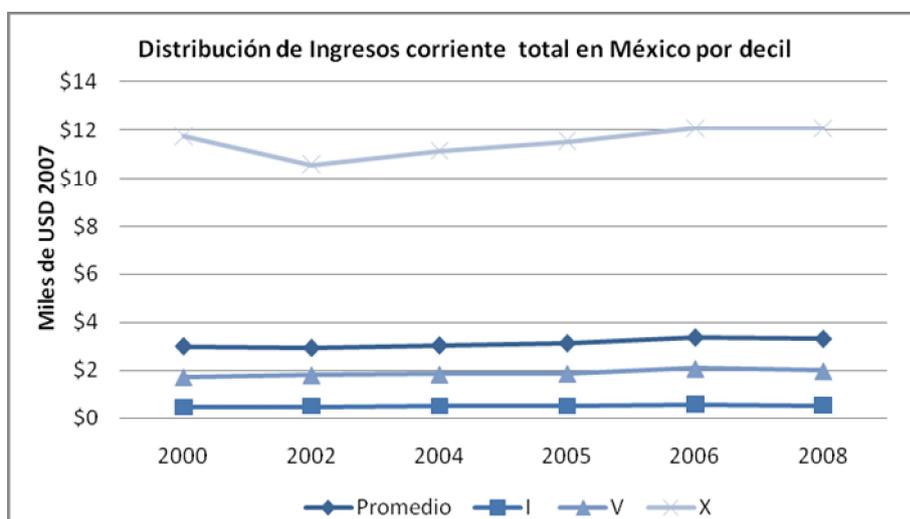


Gráfico 2. Distribución de Ingresos corriente total en México por decil.
Fuente elaboración propia con datos de INEGI-ENIGH 2008.

2.4 USOS ENERGÉTICOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL EN MÉXICO.

El consumo energético del sector residencial en México ocupó casi el 15 % del consumo final total de energía del país en el 2008 (SENER 2008).

Para satisfacer las necesidades de este sector, como son la cocción de alimentos, iluminación, calefacción y el calentamiento de agua para uso higiénico, los principales combustibles en el año 2008 fueron el gas LP con una participación de 302PJ lo que representa un 40% del total del consumo del sector, la leña con 246PJ (33%), la electricidad con 165PJ (23%), y el gas natural o también llamado gas seco con 30.7PJ (4%) (SENER 2008) (Véase gráfico 3).

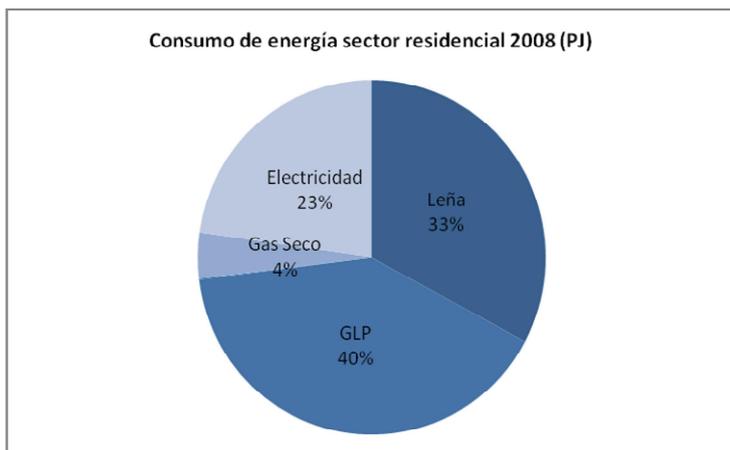


Gráfico 3. Consumo de energía sector residencial México 2008. Fuente elaboración propia con datos de SENER (2008)

Ahora tomando en cuenta el consumo de energía del sector residencial en los últimos 10 años, se ilustra que son pocos los cambios en los patrones de consumo en este sector, con fluctuaciones en el consumo de gas LP y un incremento de casi el 50% en el consumo de electricidad al pasar de 114PJ en el año 1998 a 170PJ en el 2008 (Véase gráfico 4).

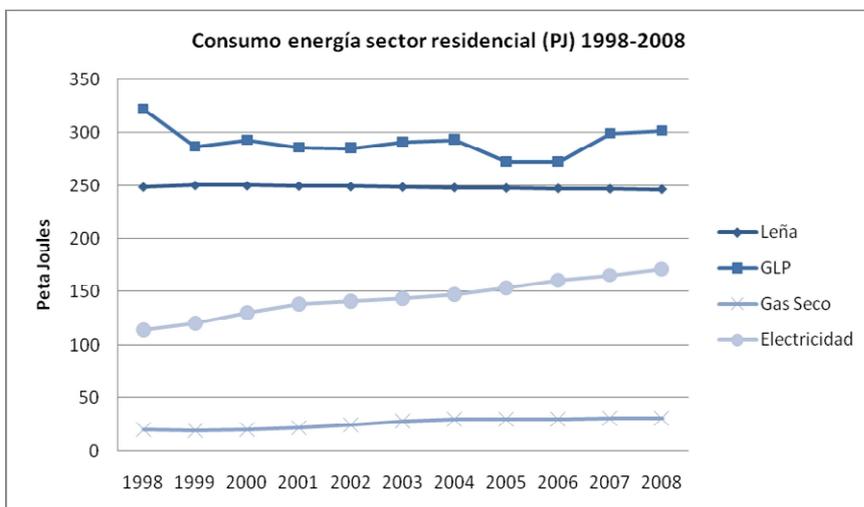


Gráfico 4. Consumo de energía del sector residencial. Fuente: elaboración propia con datos de SENER 2008

2.4.1 GAS LP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)

De acuerdo al balance nacional de energía (SENER 2008), el consumo nacional de gas LP para el 2008 fue de 453.3 PJ y reportó una disminución frente al 2007 del 1%. Cabe notar que México es importador de este gas, reportando en el balance de comercio exterior un saldo negativo de 137.79 PJ y un aumento en importaciones de este gas del 10.4% frente el año anterior. Lo que representa un gasto de casi 2.4 mil millones (USD 2007)¹⁵.

En México, de acuerdo a SENER (2008) el destino principal de la demanda del gas LP es el sector residencial, lo que significó casi el 66% (301.5 PJ) del consumo total nacional en el 2008. Este gas ha mantenido un fuerte arraigo en las familias mexicanas, al ser utilizado en más de 70% de los hogares, lo cual hace que México sea el país cuyo consumo per-cápita de gas LP sea el más alto en el mundo (SENER 2008).

A lo largo del periodo 1998-2008, la tasa media anual de crecimiento en el consumo de este gas en el sector residencial fue de -0.5%. Algunas de las razones que explican esta disminución, son citadas en el reporte *Prospectiva del mercado de Gas LP 2009-2024*, (SENER 2009a)^{xlv}, las cuales mencionan: la expansión en infraestructura de gas natural en zonas urbanas y habitacionales, el ahorro de combustible derivado de los equipos de calefacción fabricados bajo la norma de eficiencia térmica a partir del 2000¹⁶, los cambios de comportamiento en los hábitos de consumo, que favorecen a equipos sustitutos como hornos de microondas, así como al ahorro de combustible derivado del incremento en eficiencia por la sustitución tecnológica en equipos de aprovechamiento, como calentadores de agua y estufas, además, el incremento de los precios al público del gas LP en los últimos años¹⁷ y el aprovechamiento de la leña y otras fuentes energéticas no comerciales en las áreas rurales.

2.4.2 GAS NATURAL

En el balance nacional de energía del 2008 se menciona que el consumo final del gas natural a nivel nacional en ese mismo año fue de 471.26 PJ, con un decrecimiento del 1% frente al año anterior. Cabe notar que en el 2008 se importó un total de 440.33 PJ lo cual representó un aumento del 29.5% frente el año anterior y un gasto aproximado de 3.5 mil millones (USD 2007)¹⁸.

En el sector residencial el consumo de gas natural en el 2008 fue de 30.71 PJ reportándose una disminución frente al 2007 del 2.3%. Salvo este último año 2008 y el 2006 el consumo del gas natural en el sector residencial ha presentado un continuo crecimiento con una tasa media de crecimiento anual (tmca) de 4.6% en el periodo 1998-2008 (SENER 2009b)^{xlvi} (véase gráfico 4). Esto se caracterizó por tendencias de sustitución donde el gas natural ha desplazado ligeramente al gas LP, como respuesta al crecimiento de la población que tiene acceso a ambos combustibles y que puede decidir entre las ventajas de usar uno u otro considerando algunos aspectos como son la infraestructura de distribución local y los precios de comercialización con respecto al gas LP en las diferentes regiones del país. Una comparación histórica de los precios del gas natural frente al gas LP se presenta en el siguiente apartado.

¹⁵ Tomando precios promedio publicados en el D.O.F. 2008, de \$0.86 usd (2007)/Kg GLP y una tasa de conversión de CRE 2008 de: 1Kg GLP = 0.04947 GJ.

¹⁶ NOM-003-ENER-2000 Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial. Límites, método de prueba y etiquetado.

¹⁷ Una comparación histórica de los precios del gas natural frente al gas LP se presentan en el apartado 2.5

¹⁸ Tomando precios de COPAR 2008 Gas Seco (Promedio del gas natural doméstico entregado en planta): \$8.4 (usd2007)/GJ

Otro factor que ha contribuido en el crecimiento del uso del gas natural fue la desregulación del mercado de gas natural en 1995, donde se buscó el desarrollo de la red de distribución y como resultado un mayor número de usuarios han tenido acceso en los últimos años.

Esta desregulación consistió en una reforma a la ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo de petróleo en la que se abrieron los segmentos de transporte y distribución a la participación del sector privado.

2.4.3 ELECTRICIDAD

En el último balance nacional de energía de la *SENER (2008)*, se menciona que en el 2008 el consumo nacional de energía eléctrica fue de 662 PJ y aumentó 2.1% respecto al año anterior y durante el periodo 1998-2008 mostró una tasa de crecimiento anual de 3%.

El sector residencial, es el sector que ha mostrado el mayor dinamismo en el consumo de energía eléctrica durante el periodo 1998-2008, con un crecimiento anual promedio de 4.1%. Así también consumió el 25.8% de las ventas internas (170.8 PJ) con lo cual es el segundo consumidor de energía eléctrica, después del sector industrial (*SENER 2008*) (véase gráfico 4).

Esta tasa de crecimiento puede deberse a lo mencionado en el estudio *Prospectiva del sector eléctrico 2009-2024 de la SENER (2009c)^{xlvii}*, donde se reporta que el comportamiento del consumo de energía eléctrica se encuentra positivamente correlacionado con el ritmo de actividad económica, lo cual implica que ante incrementos en el PIB el consumo de energía eléctrica aumenta aunque en mayor magnitud. Otro factor mencionado es el poco aumento en el precio de las tarifas por kWh en los últimos 10 años, manteniendo los subsidios federales.

2.5 PROSPECTIVA DE LA DEMANDA DE ENERGÍA COMERCIAL EN EL SECTOR RESIDENCIAL. PROSPECTIVA 2009-2024

En nuestro país recientemente se publicaron varios estudios prospectivos de 15 años (2009-2024) por parte de la SENER de los combustibles de mayor uso en México, y en especial los combustibles analizados en esta tesis (gas LP, gas natural y la electricidad). Estos estudios nos dan una base del posible comportamiento de dichos combustibles comerciales en los próximos años.

2.5.1 GAS LP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)

Considerando lo presentado en el estudio prospectivo de gas LP 2009-2024 de *SENER (2009a)*, el consumo de gas LP esperado en el sector residencial se ubicará en 283.87 PJ al 2024, mostrando un ligero decremento promedio de 0.4% anual en los próximos 15 años, lo que en términos energéticos representa una disminución de 17.6 PJ frente al consumo del 2008 (véase gráfico 5). Algunas de las razones de este decremento son mencionadas por *SENER (2009a)*, las cuales incluyen: el aumento en el ahorro de energía para el sector residencial por parte de programas nacionales, los cambios en los hábitos de consumo, la introducción de esquemas energéticos alternos como los calentadores solares, sustitución de otros combustibles y el precio del gas LP.

En la siguiente gráfica se muestra el consumo de gas LP para el sector residencial reportado en el balance nacional de energía 2008 en el periodo 1998-2008 y la prospectiva esperada de acuerdo a *SENER (2009a)* para el periodo 2009-2024.

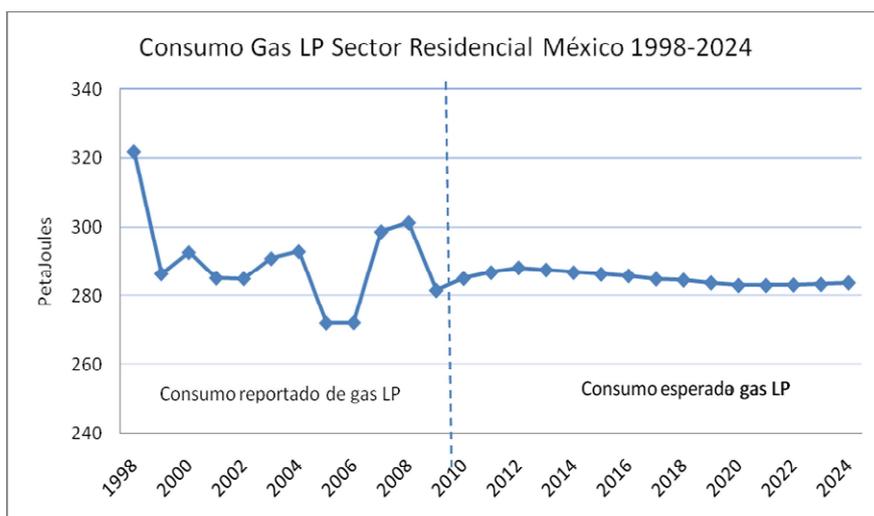


Grafico 5. Consumo Gas LP Sector Residencial en México 1998-2024
Fuente: Balance Nacional 2008 y Prospectiva Gas LP 2009-2024 (SENER 2009a)

2.5.2 GAS NATURAL

Tomando en consideración la prospectiva reportada por SENER (2009b), en los próximos 15 años se estima un crecimiento de 3% en el consumo de gas natural del sector residencial, lo que representará un consumo de 49.5 PJ para el año 2024 (véase grafico 6).

En el siguiente grafico se muestra el consumo interno de gas natural en el sector residencial reportado para el periodo 1998-2008, en SENER 2008 y la prospectiva esperada para el periodo 2009-2024 de acuerdo a SENER (2009b).

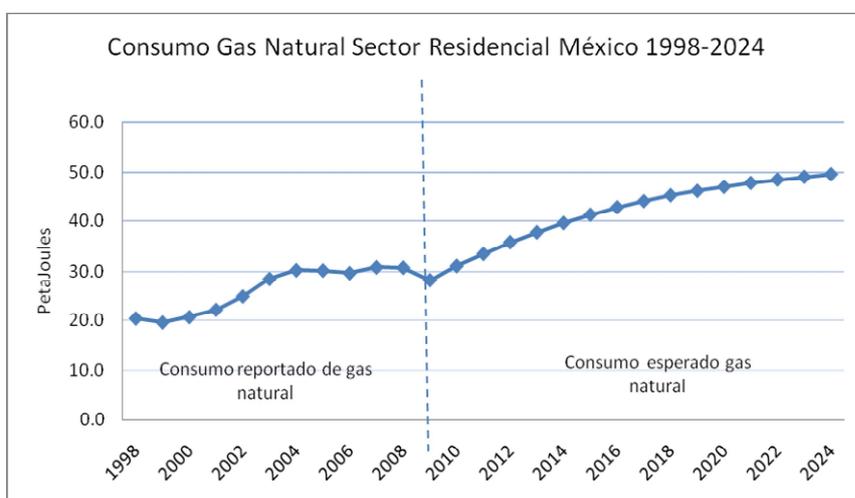


Grafico 6. Consumo Gas Natural Sector Residencial en México 1998-2024
Fuente: Balance Nacional 2008 y Prospectiva Gas Natural 2009-2024 (SENER 2009b).

2.5.3 COMPARACIÓN ENTRE PRECIOS DE GAS LP Y GAS NATURAL

Para el desarrollo de esta tesis, es importante la comparación histórica de los precios de estos dos combustibles de gran uso en México. En el estudio de la *SENER (2009a)* se presentan los precios equivalentes en términos energéticos (pesos 2009 por gigacaloría).

Históricamente el precio del gas LP ha sido superior al del gas natural. Por ejemplo, entre 1997 y 2000 el gas LP era 50% más caro en promedio que el precio del gas natural, registrándose en mayo de 1997 un histórico de 55%. Para 2001 y 2002, tal proporción aumentó a 61%, cuando el gas LP mostraba un incremento de 0.5% anual. De 2003 a 2007 esta proporción disminuyó llegando a 27%, sin embargo debido a fluctuaciones a partir de mayo de 2008 al primer trimestre de 2009 el precio del gas natural fue superior al del gas LP, llegando en julio de 2008 a un máximo de 12% de diferencia, haciendo que el gas LP sea en la actualidad más barato que el gas natural (véase gráfico 7).

Esta situación se tradujo de mayores a menores niveles de consumo de gas natural, pasando, por ejemplo, de 30.78 PJ en el 2007 a 30.71 al 2008 (*SENER, 2008*).

A diferencia del gas natural, el precio de gas LP es regulado por el gobierno federal y desde el 2001 es subsidiado por la empresa petrolera nacional, por lo que se mantiene en un precio único al consumidor y sus incrementos se establecen de acuerdo a deslices establecidos (*SENER 2009b*). Por el contrario el precio final del gas natural varía de manera sectorial y su mecanismo para determinar el precio en México incorpora un precio de referencia en el sur de Texas, haciéndolo más volátil ante fluctuaciones.

En el siguiente gráfico 7 se aprecia una comparación histórica de los precios por gigacaloría del gas natural frente al gas LP en varios sectores en el periodo 1997-2009

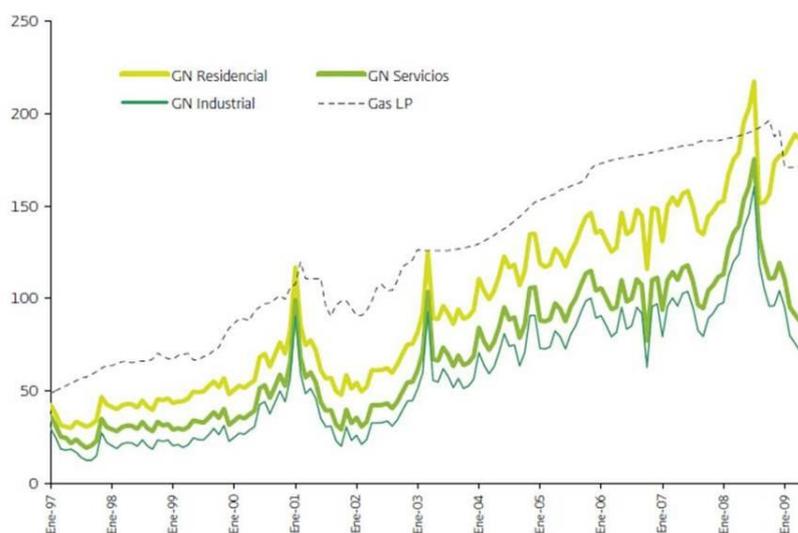


Gráfico 7. Precios sectoriales de gas natural y precio al público de gas LP, 1997-2009 (pesos 2009 por gigacaloría) Fuente: CRE, *SENER (2009a)*

2.5.4 ELECTRICIDAD

Tomando en consideración la prospectiva reportada en *SENER (2009c)*, las estimaciones del consumo eléctrico en el sector residencial para el periodo 2009-2024, indican una tasa media anual de crecimiento de 3.9%, lo que en términos absolutos representa un incremento de 145.7 PJ al pasar de 170.8 PJ en 2008 a 316.6 PJ en 2024. La tasa más alta de crecimiento comparado contra los otros energéticos.

Estas estimaciones de *SENER (2009c)*, toman como principal hipótesis la correlación entre la evolución del consumo nacional de energía eléctrica frente al desempeño económico, medido en términos del PIB¹⁹ (véase grafico 8).

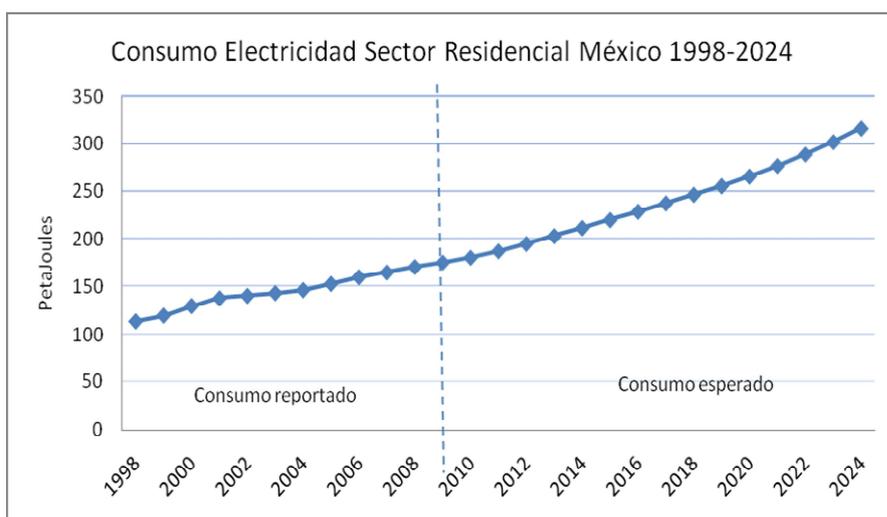


Grafico 8. Consumo Electricidad Sector Residencial en México 1998-2024
Fuente: Balance Nacional 2008, Prospectiva SE 2009-2024 SENER (2009c)

2.6 ENERGÍA SOLAR EN EL SECTOR RESIDENCIAL EN MÉXICO

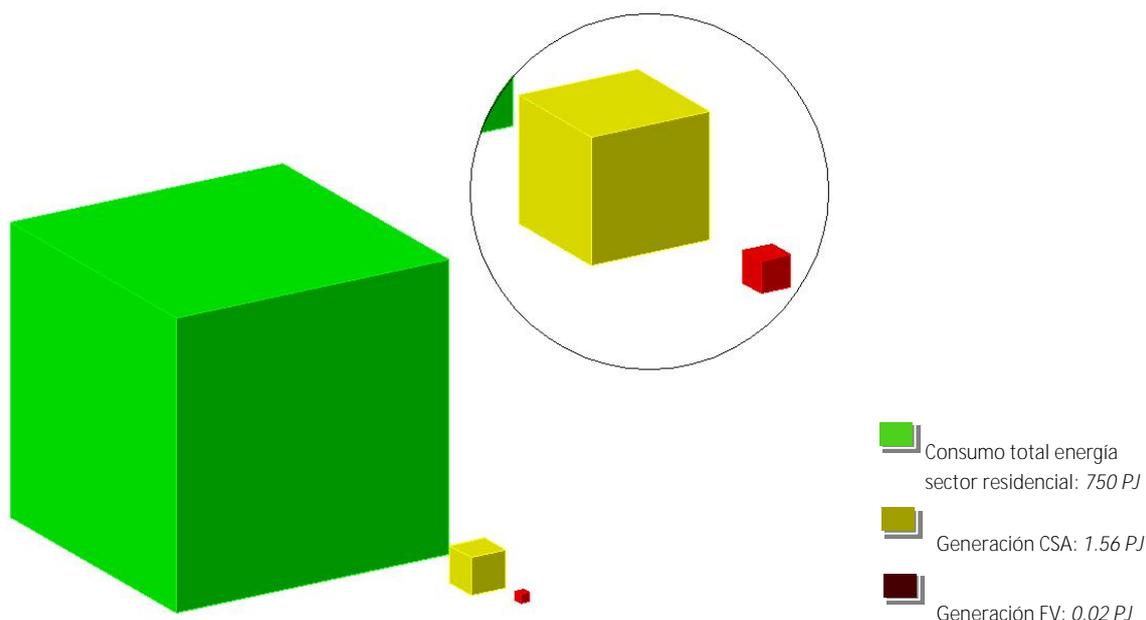
En México en el 2008 el uso de la energía solar en el sector residencial fue muy incipiente. Con datos de SENER (2008), y la Agencia Internacional de Energía (IEA) en los últimos reportes (*IEA PVPS 2008*), (*IEA SHC 2009*) se obtiene que en el sector residencial en el 2008 los calentadores solares de agua tenían una capacidad de generación de 1.56 PJ²⁰, mientras que los sistemas fotovoltaicos generaron apenas 0.025 PJ²¹ (véase en gráfica 9).

Considerando que el sector residencial consumió en este mismo año 750PJ, las cifras resultan muy incipientes y también dan una idea del gran potencial de crecimiento del uso de la energía solar fotovoltaica y de calentamiento de agua en dicho sector. En la siguiente grafica se modela una representación a escala sobre estas capacidades energéticas.

¹⁹ PIB con un crecimiento económico promedio anual de 2.7% para el periodo 2009-2024, con año de referencia 2008.

²⁰ Balance de Energía 2008 reporta una capacidad de generación de 5.584 PJ para calentadores solares, y tomando la consideración del reporte IEA-SHC 2009: 28% del total del mercado en México corresponde al sector residencial.

²¹ Balance de Energía 2008 reporta una capacidad de generación de 0.0334 PJ para módulos fotovoltaicos, y tomando la consideración del reporte IEA-PVPS 2008: 76% del total del mercado en México corresponde al sector residencial.



Gráfica 9, Representación del consumo en el sector residencial contra lo producido por CSA y FV en México. Fuente: elaboración propia con datos de IEA PVPS 2008, IEA SHC 2009, SENER 2008

2.7 POTENCIAL DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL SECTOR RESIDENCIAL EN MÉXICO

La irradiación solar global en México tiene un promedio de 5 kWh/día/m^2 , pero en algunas regiones del país se llega a valores de 6 kWh/día/m^2 ²². Suponiendo una eficiencia del 16% en un SFV, como lo reportado en un estudio de CONUUE (2009), bastaría un cuadrado de 11.6 km de lado en el desierto de Sonora o Chihuahua para generar toda la energía eléctrica que requirió el sector residencial de México reportado en el 2008²². Por ello, el potencial técnico se puede considerar prácticamente infinito.

Al igual que para el caso del aprovechamiento de la radiación solar para la generación de electricidad, el potencial técnico para el aprovechamiento térmico de la radiación es prácticamente ilimitado. El potencial para el desarrollo de esta tecnología está relacionado con la demanda para el calentamiento de fluidos a baja temperatura en el sector residencial. En el 2008 el consumo de gas natural y LP fue de 332.21 PJ. Tomando como referencia lo propuesto por PROCALSOL (2007), donde el 52% del consumo total de gas LP y gas natural del sector residencial se utiliza para calentamiento de agua para ducha y que esta pueda ser satisfecha por calentadores solares de agua, el potencial para el desarrollo de esta tecnología sería de 50 millones de m^2 de colectores solares²³ que proveerían 172.8 PJtérmicos/anuales, equivalentes al 22% del consumo final energético del sector residencial en México en el 2008²⁴.

²² Se considera un consumo eléctrico en el sector residencial de 47,451GWh/anuales. SENER (2009c)

²³ Se considera una radiación solar promedio de $18,841 \text{ kJ/m}^2\text{-día}$, (SENER 2008)

²⁴ Considerando el consumo energético total del sector residencial en 750PJ, (SENER 2008)

2.8 PROGRAMAS DE ENERGÍA SOLAR EN EL SECTOR RESIDENCIAL MÉXICO

Actualmente existen pocos estudios y programas oficiales enfocados al uso de la energía solar en el sector residencial de México. Los estudios disponibles provienen en su mayoría de dos instituciones federales enfocadas en la energía en México, estas son la SENER y la CONUEE, así también diversas tesis de nuestra institución educativa la UNAM.

2.8.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.8.1.1 PRONALSOL

El Gobierno Federal Mexicano estableció el 2 de Diciembre de 1988 el Programa Nacional de Solidaridad, un programa para el desarrollo de infraestructura en comunidades carentes de ella. Dentro de este programa, llamado PRONASOL, se llevan caminos, escuelas, agua potable, electrificación, y otros elementos de infraestructura a las comunidades más desposeídas. Desde los inicios de PRONASOL, se reconoció la conveniencia de utilizar fuentes renovables de energía para dotar de electricidad a las localidades más apartadas que carecían de este servicio, estableciéndose así el programa de electrificación rural con fuentes alternas de energía.

Para las pequeñas aplicaciones de iluminación, la tecnología fotovoltaica (FV) se perfila como una de las mejores opciones para abastecer electricidad a comunidades rurales alejadas de la red eléctrica y del suministro de combustibles convencionales, con cargas eléctricas pequeñas y dispersas.

A diferencia del esquema tradicional de electrificación rural por extensiones de la red, la electrificación con sistemas FV demanda una participación activa del usuario en el entendimiento y manejo de la tecnología, y una consideración seria del entorno físico, social, económico y ambiental en el que ésta se hallará inmersa. Estos elementos hacen que el proceso de electrificación con sistemas FV sea complejo, pues va más allá de la simple introducción de los equipos a las zonas rurales.

A la fecha se han instalado más de 24,000 sistemas fotovoltaicos de alumbrado para casas individuales en diferentes regiones de México. Estos sistemas consisten en un módulo FV de 50 a 75W, una batería de unos 100Ah, un controlador electrónico de carga, y 3 ó 4 lámparas fluorescentes de unos 20W o menos. También se han instalado unos 10,000 teléfonos rurales, siete sistemas híbridos de tamaño comunitario (3 FV-eólico-diesel que proporcionan hasta 250 kWh al día y 4 FV-eólico con 10 kW eólicos y 750 a 1600 W de módulos FV cada uno), y 5 pequeñas centrales hidroeléctricas de 25 a 35 kW. Se espera que en el transcurso de los próximos años se instalen más sistemas de varios tipos. Con esto, el programa mexicano de electrificación rural con fuentes renovables de energía se convierte en uno de los programas más grandes de su género en el mundo actualmente^{xlix}.

2.8.1.2 EL VECINDARIO FOTOVOLTAICO VALLE DE LAS MISIONES

El 12 de octubre de 2006 en Mexicali Baja California, mediante un programa estatal y federal llamado vecindario Fotovoltaico Valle las Misiones fueron entregadas 220 viviendas con sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica.

Estas viviendas constan de una superficie de 120 metros cuadrados y una superficie construida de 38.57 metros cuadrados, por lo que pueden ser catalogadas para personas de bajos ingresos (véase figura 14).

Los SFV utilizados en estas viviendas fueron de 1kWp a un costo de \$81,370 pesos SEMARNAT (2006)^l, con una producción promedio anual de electricidad de 2,040kWh, generando ahorros promedios mensuales en la facturación eléctrica de \$120 pesos.

Se estima que los SFV en estas viviendas son capaces de producir una parte importante de la energía eléctrica que se consume. Con esto, se estima que una vivienda de este tipo puede producir hasta el 50% anual de su consumo de energía eléctrica, resultando en un ahorro sustancial en la facturación proveniente de la CFE.



Figura 14. Viviendas con SFV, Valle de las Misiones.
Fuente: Comisión Estatal de Energía de Baja California.

2.8.1.3 NICHOS DE MERCADO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EN CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA EN MÉXICO

En un estudio reciente de la CONUUE (2009) "Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos, en conexión a la red eléctrica en México"^{ll}, aplicado al sector residencial en 28 ciudades mexicanas. Se considera la instalación de sistemas fotovoltaicos policristalino, de 20 años de vida útil y con una eficiencia del 16% en tres diferentes escenarios. El primer escenario llamado "Precios actuales" sigue una prospectiva sin cambio de precios por kWp (kilowatt pico) instalado para un periodo de 20 años, mientras que en el escenario 2 "Perspectiva conservadora", y en el 3° "Perspectiva optimista" se estima una reducción de precios en los SFV de 20% y 50% respectivamente.

Los resultados de este estudio indican que para el primer escenario la electricidad generada con SFV tiene siempre un costo mayor que la electricidad consumida de la red nacional. Sin embargo, en algunos casos, la opción del suministro parcial mediante un SFV, resultó ser más económica que comprar toda la electricidad requerida a la red eléctrica en el periodo de tiempo. La razón de esto es el cambio hacia una tarifa más baja, causado por la reducción de la electricidad consumida de la red al generar parte de la electricidad con el sistema fotovoltaico. Este efecto genera ahorros en el periodo de 20 años, sólo para los hogares que consuman en la tarifa residencial más elevada y en las ciudades que presentan una radiación cercana al promedio nacional o mayor. Por lo que resulta en un nicho de mercado del 2% de los hogares mexicanos dentro de las 28 ciudades seleccionada. Esto es equivalente a casi 90,000 hogares, alcanzando los 81 MW, a un costo aproximado de 608 millones de dólares

En el segundo escenario, se concluye que los consumidores cercanos a los límites de la tarifa más alta de consumo eléctrico disfrutarán, en aproximadamente 5 años, de costos de generación por kWh con SFV menores al precio por kWh proveniente de la red. Esto genera importantes oportunidades de mercado y de ahorro económico, relacionadas con los SFV conectados a la red eléctrica en México. Lo que genera un nicho de mercado del 17% de los hogares mexicanos de las 28 ciudades incluidas, equivalente a casi un millón de hogares. El tamaño de este nicho de mercado alcanza los 693 MW, equivalente a aproximadamente 5,190 millones de dólares

En el tercer escenario se observa que, si los precios se reducen a la mitad, los sistemas fotovoltaicos se convertirían en una alternativa económica en México para cualquier volumen de consumo que exceda el rango de consumo mínimo. Esto representaría un mercado fotovoltaico promisorio para atraer una gran inversión privada. El nicho de mercado estaría conformado por el 27% de los hogares de las 28 ciudades incluidas en el estudio, equivalentes a cerca de 1.5 millones de hogares. El tamaño de este nicho es de 1,336 MW, equivalente a 6,225 millones de dólares, aproximadamente. En la siguiente tabla se muestra los resultados de este estudio.

Escenario	"Top 5"	Capacidad potencial [MW]	Hogares [#]	Tamaño del nicho [mill. USD]	Rango de tamaño del sistemas FV [kW]
1 "Nichos actuales"	1 Guadalajara	28	45,981	207	
	2 Chihuahua	9	14,941	67	
	3 Puebla	7	10,993	49	
	4 Poza Rica	6	9,994	45	
	5 Acapulco	5	7,713	35	
	Total "Top 5"	54	89,622	403	
	Total 28 Ciudades	81	133,499 2%	608	
2 "Perspectiva conservadora"	1 Guadalajara	174	388,224	1,302	0.1 - 1.3
	2 Cuautla	52	73,297	392	0.6 - 1.9
	3 Chihuahua	50	60,298	376	0.1 - 2.9
	4 Nogales	44	47,799	332	0.6 - 1.9
	5 Puebla	41	89,854	306	0.1 - 1.3
	Total "Top 5"	362	659,471	2,708	
	Total 28 Ciudades	693	956,629 17%	5,190	
3 "Perspectiva optimista"	1 Guadalajara	174	388,224	814	0.1 - 1.3
	2 Mexicali	141	44,606	659	0.2 - 15.5
	3 Monterrey	124	110,034	581	0.1 - 3.7
	4 Cd. Juárez	88	86,143	413	0.1 - 3.7
	5 Tampico	66	55,366	307	0.1 - 3.7
	Total "Top 5"	593	684,372	2,774	
	Total 28 Ciudades	1,336	1,486,362 27%	6,255	

Tabla 9. Tamaño de los nichos de sistemas FV en el sector residencial, fuente CONUEE 2009

Como segunda parte de este estudio, se considera el impacto de los subsidios en los nichos de mercado en un aspecto macroeconómico, donde la perspectiva micro refleja lo mencionado anteriormente a tarifas vigentes. Dentro de la perspectiva macro se considera dos escenarios. En el primero "Sin cambio de tarifas", se asume que no existe el efecto de subsidio resultante de un cambio a una tarifa más barata. Mientras que en el segundo escenario "Sin subsidios" se asume un sistema tarifario completamente sin subsidios. Lo que ofrece resultados más prometedores y nichos de mercados aun mayores (véase tabla 10).

Perspectiva Macro "Sin cambio de tarifa"			
Escenario	Capacidad potencial	Hogares	Tamaño del Nicho
	[MW]	[#]	[mill. USD]
Escenario 1	sin nichos		
Escenario 2	516	224.462	3.867
Escenario 3	1.812	824.533	8.482
Perspectiva macro "Sin subsidios"			
Escenario 1	sin nichos		
Escenario 2	4.580	5.607.111	34.308
Escenario 3	7.328	5.607.111	34.308

Tabla 10, Perspectiva Macro de los nichos de sistemas FV en el sector residencial, fuente CONUEE (2009)

En este último estudio se presenta la información detallada por tipo de tarifa y ciudad a aplicar, esto desde una perspectiva micro es muy adecuado, pero en la perspectiva macro surgen varias desventajas. Por ejemplo, la inconsistencia del tamaño del equipo, en los escenarios ya que en ciudades como Hermosillo en la perspectiva conservadora es recomendado el uso de un equipo desde 1.3 a 12.30 kWp frente a tan solo 1.4Kwp máximo en Guadalajara, (véase tabla 11) lo que supone evitar una alta cantidad de energía eléctrica y resultando en una sobre estimación del tamaño de los equipos²⁵, además es importante mencionar que el contrato de interconexión de SFV en México permite un máximo de 10kWp por usuario residencial.

Scenario	"Top 5"		Potential capacity	Households	Size of niche	Range of PV size
			[MW _p]	[n]	[mill. USD]	[kW _p]
Sc.1: Current niches			no niches			
Sc.2: Conservative Outlook	1	Mexicali	510	237,010	3,822	1.3 - 12.3
	2	Guadalajara	391	910,132	2,932	0.2 - 1.4
	3	Monterrey	336	318,315	2,515	0.6 - 5.4
	4	Hermosillo	323	203,369	2,416	1.3 - 12.3
	5	Cd. Juarez	302	332,883	2,259	0.6 - 5.4
	Total "Top 5"			1,861	2,001,708	13,943
Total 28 Cities			4,580	5,607,111	34,308	
Sc.3: Optimistic outlook	1	Mexicali	702	237,010	3,285	2.0 - 19.7
	2	Guadalajara	538	910,132	2,519	0.3 - 2.2
	3	Monterrey	462	318,315	2,161	0.9 - 8.6
	4	Hermosillo	444	203,369	2,077	2.0 - 19.7
	5	Cd. Juarez	415	332,883	1,941	0.9 - 8.6
	Total "Top 5"			2,559	2,001,708	11,983
Total 28 Cities			7,328	5,607,111	34,308	

Tabla 11, Perspectiva Macro "sin subsidios" de los nichos de sistemas FV en el sector residencial, fuente CONUEE (2009)

Dado esto los costos de los nichos son muy altos y no consideran las reducciones en costos de generación, transmisión y mantenimiento de posibles plantas de generación eléctrica que quedaría sin trabajar, es decir

²⁵ Suponiendo que 1kWp ocupa un área promedio de 7.7m² (SOLARTRONIC 2010), tenemos que para 12.30kWp se necesita un área aproximada de 95m²

no se genera un análisis económico sobre la conveniencia de utilizar SFV en el sector residencial desde un punto de vista sectorial, algo que en la construcción de escenarios de esta tesis se tomara en consideración.

Además se considera una reducción del precio de fotovoltaicos de solo 20% y 50% en el escenario conservativo y optimista respectivamente. En esta tesis se utiliza la reducción de precios presentados en el *capítulo 1* donde se sugiere una reducción de casi \$1 por watt instalado para el 2030 según datos presentados por *DOE (2008)*

2.8.1.4 AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN VIVIENDAS DE INTERÉS MEDIO; USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

Una tesis para obtener el grado de maestría por parte de Ortega (2009)ⁱⁱⁱ de la facultad de Arquitectura, nos muestra la factibilidad del uso de SFV en las viviendas de la Ciudad de México desde un punto de vista arquitectónico y económico.

Dentro de sus resultados nos indica que una vivienda de interés promedio, con un SFV de 405 Wp (3 módulos de 135W y un inversor de 1.1kW a 12 V) interconectado a la red y considerado además el uso de lámparas incandescentes, nos proporcionaría un ahorro de \$7,740 pesos /anuales en una vivienda con un consumo eléctrico promedio de 574.8 kWh/mensuales. Y suponiendo el costo del SFV de \$50,250 pesos, nos indica que el periodo de recuperación es de 7 años.

Lo que sugiere que el uso de SFV en una vivienda de interés medio con alto consumo eléctrico puede ser factible.

Este estudio, nos da una muy buena base y un nicho de interés, pero no considera el estudio macro del sector residencial, y no se emplean las funciones de Ingeniería económica, como el Valor Presente Neto (VPN), tasas de descuento o una moneda constante que considero necesarias para un adecuado análisis costo-beneficio.

2.8.2 CALENTADORES SOLARES

2.8.2.1 PROCALSOL

En el 2007 la CONAE²⁶ publicó el "Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México" (PROCAL SOL 2007)ⁱⁱⁱ con la finalidad de ampliar, aprovechar y diversificar las fuentes de energía con que cuenta el país. La meta establecida es tener instalados, al 2012, un millón ochocientos mil metros cuadrados de calentadores solares de agua en México. (Véase gráfico 10). De los cuales el mayor potencial se espera sea instalado en el sector residencial, lo que equivale al 72%, donde un 58% será en viviendas nuevas (1,030,000 m²) y 14% en viviendas ya habitadas (254,000 m²).

En el último reporte de avances del PROCALSOL (2009)^{iv} se reporta una instalación de CSA para el 2008 de 165,632 m², cifra 7% mayor a la meta del programa (véase gráfico 10).

²⁶ CONAE ahora conocida como CONUEE, ya que a partir de entrar en vigor la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, publicada el 28 de noviembre de 2008, se estableció que todos los recursos humanos y materiales de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) quedarán asignados a la nueva comisión llamada Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).

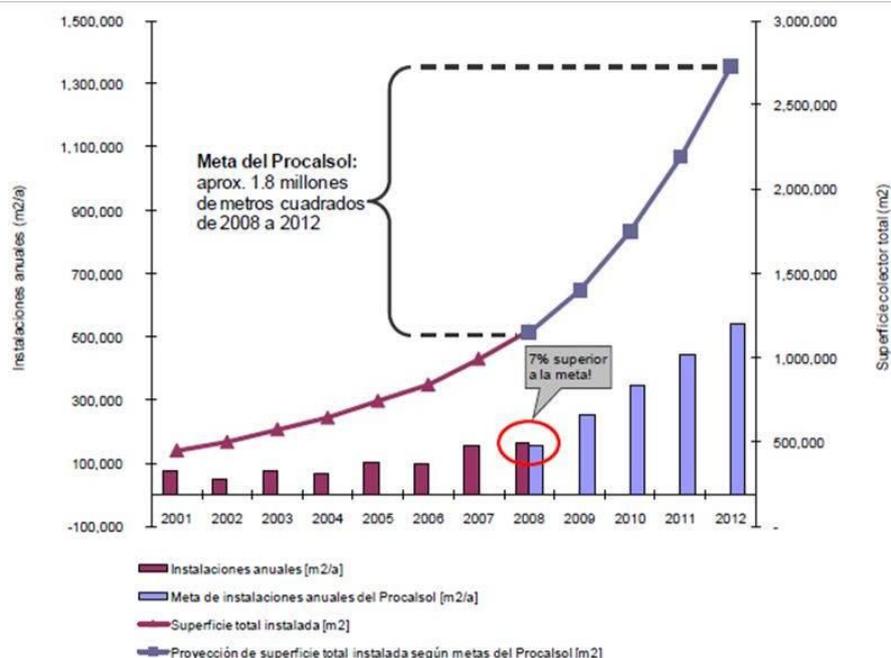


Gráfico 10. Mercado de Calentadores Solares de Agua en México, Fuente: PROCALSOL (2009).

Cabe mencionar que, en los últimos años el principal problema para el uso masivo de calentadores solares de agua en México ha sido el alto costo de la inversión inicial, lo cual se traduce en la necesidad de esquemas adecuados de comercialización y financiamiento. Por ello, derivado del Programa de Hipotecas Verdes de INFONAVIT y del Programa de Vivienda Sustentable de CONAVI, los sistemas de calentamiento de agua que utilizan radiación solar tienen una mayor demanda. Estos programas fueron galardonados con el premio internacional Estrella de Eficiencia Energética^{lv}, debido a la integración de criterios de sustentabilidad en la vivienda de interés social en estos dos programas.

En esta tesis como se mostrara en el capítulo 4, se presenta un escenario con las bases de este estudio pero con información más actualizada, y el agregar otros aspectos de crecimiento como el incremento per cápita esperado de la población. También es importante mencionar que el estudio prospectivo de PROCALSOL (2007) solo llega hasta el 2012 al contrario de nuestro estudio prospectivo de mayor plazo.

2.8.2.2 HIPOTECAS VERDES

La hipoteca verde es un crédito de INFONAVIT^{lvi} que cuenta con un monto adicional de entre 10 mil y 16 mil pesos, para que el derechohabiente pueda adquirir una vivienda con tecnologías ecológicas integradas. Según el plan financiero del Instituto, el objetivo es que el trabajador tenga una mayor calidad de vida mediante la generación de ahorros en su gasto familiar mensual derivados de las ecotecnologías que disminuiría los consumos de energía eléctrica, agua y gas, además de que contribuir al uso eficiente y racional de recursos naturales.

El Instituto otorga desde marzo de 2008 una línea de crédito adicional de hasta 16 mil pesos si la casa a comprar cuenta con calentador solar, y otras tecnologías de uso eficiente de la energía y agua como son: lámparas compactas fluorescentes, dispositivos ahorradores de agua, aislamientos térmicos, aire acondicionados de alta eficiencia, entre otros, de acuerdo con las características particulares de los estados y municipios del país.

Más de 26 mil créditos con estas características se han entregado hasta el mes de marzo de del 2010.^{lvii} INFONAVIT tiene la meta de colocar 450 mil créditos este 2010, y al ritmo actual de colocación lograría que 120 mil de ellas fueran bajo el esquema de hipoteca verde.^{lvii}

2.8.2.3 PROPUESTA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL USO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA

Una tesis para obtener el grado de maestría por parte de Flores (2009)^{lviii} de la facultad de Ingeniería, nos muestra la factibilidad del uso de SFV en las viviendas de la Ciudad de México desde un punto de vista económico.

Esta tesis genero un programa llamado HIFUCSA (Herramienta Interactiva para el Fomento de Calentadores Solares de Agua) cuyo principal objetivo es servir como apoyo a las familias que habitan en la Ciudad de México, en el proceso de decidir sobre la compra de un CSA.

Se examinan dos casos, en el primer caso una vivienda con 2 personas y en el segundo una vivienda con 4 personas, en ambos casos se utiliza un CSA de 2m² (se considera utilizar equipos híbridos). Para la evaluación económica se utilizaron cuatro métodos de análisis. Para el análisis contable, en el cual no se toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, se utilizo: Tasa de Retorno (TR) y Tasa de Rendimiento de 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 (véase tabla 12).

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

Tabla 12. Resultados del estudio HIFUCSA. Fuente: Flores (2009)

Este estudio es de gran utilidad, ya que nos presenta una base del comportamiento económico y técnico del uso de CSA en viviendas, para este caso solo en la Ciudad de México. Cabe aclarar que en este estudio se considera un equipo híbrido y de pequeñas magnitudes, que según estudios como PROCALSOL (2007), Pilatowsky (2009), serían insuficiente para cubrir las necesidades de una familia.

CAPÍTULO 3 – POLÍTICAS PÚBLICAS, BARRERAS Y SISTEMAS DE FINANCIAMIENTO ACTUALES PARA FOMENTAR EL USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL SECTOR RESIDENCIAL NACIONAL

3.1 INTRODUCCIÓN

La política gubernamental constituye uno de los elementos más importantes para impulsar la amplia aplicación de las tecnologías y las metodologías para el uso de la energía solar en el sector residencial. Como se ha mencionado en capítulos anteriores diversos estudios mencionan que las tecnologías y los costos de la tecnología irán mejorando con el tiempo, pero existen políticas y barreras que deben ser estudiadas y analizadas para el adecuado estímulo y la extensiva difusión de la energía solar en el sector residencial en México

Con datos del primer capítulo se pudo observar que actualmente no existe en el mundo una sólida y única política gubernamental que fomente adecuadamente el uso de la energía solar en el sector residencial, en parte por lo débil que es la base empírica sobre las recomendaciones del diseño de políticas públicas adecuadas y debido a una carencia de evaluaciones sistemáticas y retrospectivas de las políticas actuales.

En México existen políticas públicas que pretenden fomentar y estimular el uso de la energía solar, pero su aplicación ha sido insuficiente. En este capítulo se hace un repaso sobre las políticas públicas que tratarían de fomentar la energía solar en el sector residencial en México.

3.2 POLÍTICAS PÚBLICAS

El concepto de políticas públicas pueden ser definido según *Jones (1970)^{lix}* de una manera simple como: "lo que los gobiernos hacen o dejan de hacer". *Larrue (2000)^{lx}* propone que pueden ser definidas como: "Una concatenación de actividades, decisiones o de medidas coherentes por lo menos en su intención, y tomadas principalmente por los actores del sistema político-administrativo de un país con la finalidad de resolver un problema colectivo. Finalmente *Kauffer (2004)^{lxi}* las define como: el conjunto de decisiones cuyo objeto es la distribución de determinados bienes o recursos.

Tomando estas definiciones y como lo menciona *ENTE (2009)^{lxii}*, para fines de este estudio, podemos señalar que las políticas públicas pueden ser interpretadas como: el conjunto de iniciativas, decisiones y acciones del gobierno para resolver o prevenir problemas que enfrenta la sociedad, a partir de la distribución adecuada de determinados bienes o recursos.

Para la aplicación de este concepto es necesario partir de la existencia y/o aprovechamiento de los bienes públicos y que estos puedan generar un beneficio para el total de una comunidad, bien sea la presente o la futura. En este sentido el medio ambiente y los recursos naturales son bienes comunes que se tienen que cuidar (*ENTE 2009*).

Por lo que se debe entender que el objetivo de las políticas públicas oficiales mencionadas en este estudio es el de cuidar los recursos energéticos no renovables y evitar los impactos ambientales que resultan de la producción, transformación, transporte, distribución y uso final de la energía.

Para lograr esto, el Estado tiene que establecer los instrumentos, donde los productores y los consumidores de energía puedan optar por las alternativas que impliquen un mayor uso de energía renovable como es la energía solar.

Otro aspecto que el Estado debe considerar son los actores o stakeholders involucrados en la gestión de políticas públicas, ya que estos son necesarios para el apoyo, legitimidad y funcionamiento de políticas públicas consistentes.

Con la información anterior podemos definir las políticas públicas bajo el siguiente diagrama:

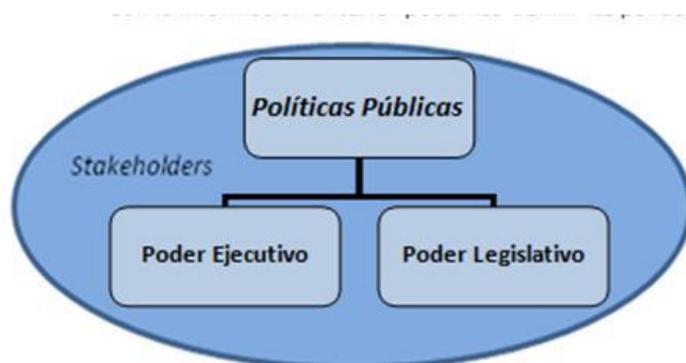


Diagrama 1 Políticas Públicas. Fuente Elaboración propia

3.3 POLÍTICAS PÚBLICAS DEL PODER EJECUTIVO

Las políticas públicas del poder ejecutivo son aquellas decretadas por la presidencia de la República, las secretarías de Estado, los departamentos administrativos y la consejería jurídica del ejecutivo federal.

El poder ejecutivo en México se ha enfocado en estos últimos años en empezar a conformar un marco regulatorio para el estímulo del uso de la energía renovable y en este caso se presenta lo referente a la energía solar en el sector residencial dentro de las cuales se encuentran normas, contratos, leyes y programas sectoriales.

3.3.1 PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2007-2012

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 31 de mayo de 2007, dentro del eje 2 (Economía competitiva y generadora de empleos) en el apartado 2.11 (Energía) y la sección (Energías Renovables y Eficiencia Energética), se establece que uno de los ejes centrales de las políticas públicas de México es el desarrollo sustentable. Para ello, se propone impulsar el uso eficiente de la energía, así como la utilización de tecnologías que permitan disminuir el impacto ambiental generado por los combustibles fósiles tradicionales.

No existe sin embargo alguna estrategia directa para el fomento de la energía solar en el sector residencial de México, pero es importante mencionar algunas estrategias involucradas indirectamente las cuales son:

- *Estrategia 15.11:* Ampliar la cobertura del servicio eléctrico en comunidades remotas utilizando energías renovables en aquellos casos en que no sea técnica o económicamente factible la conexión a la red.
- *Estrategia 15.12:* Diversificar las fuentes primarias de generación.
- *Estrategia 15.14:* Fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles, generando un marco jurídico que establezca las facultades del Estado para orientar sus vertientes y promoviendo inversiones que impulsen el potencial que tiene el país en la materia.
- *Estrategia 15.16:* Aprovechar las actividades de investigación del sector energético, fortaleciendo a los institutos de investigación del sector, orientando sus programas, entre otros, hacia el desarrollo de las fuentes renovables y eficiencia energética.

3.3.2 PROGRAMA SECTORIAL DE ENERGÍA 2007-2012

El fomento del uso de la energía solar en México por parte del *Programa Sectorial de Energía* no es reciente, desde el 2001 hace mención al uso de la energía solar dentro del *Programa Sectorial de Energía (PSE 2001-2006)* ya que estableció que para el 2006 se deberían haber incorporado por lo menos 1,000 MW adicionales a la capacidad instalada de generación de electricidad, a partir de fuentes renovables de energía (excluyendo las grandes hidroeléctricas programadas por el Gobierno Federal a través de la Comisión Federal de Electricidad). Para lo anterior se propuso establecer acciones necesarias para que, tanto el sector público, como el privado, puedan participar en nuevos proyectos con energías renovables, que incluyan a las tecnologías solar, y otras tecnologías como la eólica, geotérmica, minihidráulica, biomasa y biogás, entre otras.

En el *programa sectorial de energía 2007-2012*, en el *objetivo II.2*. "Equilibrar el portafolio de fuentes primarias de energía" (manejando como año base el 2006), se considera que las energías renovables (incluyendo las grandes hidroeléctricas la cual representaba el 17% en el 2006) proporcionan una capacidad nacional de generación de energía eléctrica del 23% del total y se plantea una meta del 26% para el 2012 (véase tabla 13)

Objetivo II.2	Capacidad de generación eléctrica (%)	
	Línea base (2006)	Meta (2012)
Fuente primaria de energía		
<i>Combustóleo</i>	29	20
<i>Gas Natural</i>	36	41
<i>Carbón</i>	9	10
<i>Grandes Hidroeléctricas</i>	17	17
<i>Pequeñas Hidroeléctricas</i>	4	3
<i>Otros renovables</i>	2	6
<i>Nuclear</i>	3	3

Tabla 13. Indicador del Objetivo II.2., Fuente: Programa Sectorial de Energía 2007-2012

Para llegar a estas metas, el objetivo III.2, refiere a la sustentabilidad ambiental, y la define como un eje central de las políticas públicas de México, mencionando varias estrategias que se encuentra involucradas o pudieran afectar en el fomento y estímulo del desarrollo de la energía solar en el sector residencial, estas son:

La estrategia III.2.1. (Desarrollar el Programa Nacional de Energías Renovables), donde una de sus líneas de acción involucra impulsar la instalación de sistemas de calentamiento solar de agua en los programas de vivienda que sean apoyados por el Gobierno Federal.

La estrategia III.2.5.- (Desarrollar esquemas de financiamiento que agilicen e incrementen el aprovechamiento de fuentes renovables de energía), sus principales líneas de acción mencionan:

- Desarrollar esquemas de financiamiento para distintos niveles de generación, incluyendo a los productores en pequeña escala.
- Implementar mecanismos de financiamiento que permitan replicar los proyectos exitosos que aprovechen energías renovables.
- Diseñar esquemas de micro-financiamiento y otros mecanismos de apoyo que permitan la amplia participación de pequeños productores de energías renovables.
- Proponer sistemas de garantías, riesgo compartido y otros mecanismos de administración de riesgo para impulsar la participación de inversión en nuevas tecnologías relativas a fuentes renovables de energía.
- Impulsar la cooperación entre los sectores público, privado y social para el desarrollo de esquemas de fomento a las fuentes renovables de energía.

Además este objetivo (III.2) indica que por medio de la utilización de fuentes renovables de energía se puede reducir parcialmente la presión sobre los recursos naturales, particularmente causada por el uso de los combustibles fósiles.

3.4 NORMAS QUE REGULAN EL USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL SECTOR RESIDENCIAL

En cuestión de normas, todavía no existe alguna en particular que exija o regule el uso de la energía solar en el sector residencial. Pero existen algunas que afectan a los calentadores solares de agua y a los sistemas fotovoltaicos.

3.4.1 NORMAS PARA CALENTADORES SOLARES DE AGUA

El desarrollo de diversos tipos de normas es un ingrediente importante en el desarrollo del mercado para los calentadores solares de agua en México. En México las normas para calentadores solares se podrían diferenciar entre de origen federal y locales, así como normas técnicas y de promoción.

3.4.1.1 NORMAS FEDERALES

El Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar, (NESO 13), ha elaborado y está elaborando varias normas voluntarias para métodos de prueba y etiquetado, y requerimientos mínimos para la instalación, entre otras (ANES 2009)^{lxiii}. Por otro lado, el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales desarrolló una norma técnica de competencia laboral para la instalación de sistemas de calentamiento solar de agua, *NUSIM005.01*, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 05 de Febrero del 2009^{lxiv}.

Actualmente, las normas Mexicanas de energía solar expedidas son:

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

NMX-ES-002-NORMEX-2007: Energía solar-definiciones y terminología.

NMX-ES-003-NORMEX-2007: Energía solar-requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos para calentamiento de agua.

También existe un proyecto de norma Mexicana de energía solar: *PROY-NMX-ES-004- NORMEX-2009*: Energía solar-evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua-método de prueba. Además, existe un dictamen de idoneidad técnica para evaluar si los sistemas cumplen con un ahorro mensual mínimo de 13.5 kg de gas LP exigido en el marco de la Hipoteca verde del INFONAVIT (ONNCCE 2008)^{lxv}.

3.4.1.2 NORMAS LOCALES

El Gobierno del Distrito Federal expidió en 2005 la norma *NADF-008-AMBT-2005*^{lxvi} haciendo obligatoria la instalación de dispositivos de CSA en establecimientos medianos (51 a 100 empleados) y grandes (más de 100 empleados) y aquellos que efectúen una remodelación total de sus instalaciones, que requieran agua caliente para realizar sus actividades. La capacidad mínima de operación del dispositivo de CSA por medio del aprovechamiento de la energía solar tiene que proveer al menos 30% del consumo energético anual, por utilización de agua caliente para cada establecimiento. En Guadalajara y Monterrey se está considerando el establecer normas similares (SENER 2009d)^{lxvii}.

3.4.2 NORMAS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Especificación *GO 100-04* de interconexión en baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kw (CFE 2008)^{lxviii}, esta especificación tiene como objetivo definir los requerimientos para el diseño, instalación, inspección, autorización y utilización de sistemas fotovoltaicos interconectados con la red eléctrica, así como garantizar la calidad de la energía en la red y la integridad física y operacional, tanto del personal de la CFE y de los usuarios, como de los propios sistemas fotovoltaicos. Su campo de aplicación incluye la interconexión de la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30kWp, los cuales pueden estar instalados en viviendas individuales, inmuebles comerciales, escuelas y edificios públicos, incluyendo únicamente aquellos que utilizan inversores estáticos de estado sólido, para conversión de corriente directa o corriente alterna.

3.4.2.1 CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA SOLAR EN PEQUEÑA ESCALA.

Una resolución aprobada en el *DOF el 27 de Junio del 2007*, genero "*El modelo de contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala*", donde se establece que los usuarios con servicio eléctrico de uso residencial pueden participar hasta con 10 kW mediante un medidor bi-direccional de energía eléctrica dentro de las redes de CFE^{lxix}. Dicho contrato establece que la inversión necesaria para la construcción de las instalaciones o equipos que técnicamente sean necesarios, así como, los medidores bi-direccionales y equipos de medición utilizados para medir la energía entregada por el Generador (el usuario) al Suministrador (CFE) y la que entregue el Suministrador al Generador, estarán a cargo del usuario. Asimismo, será a cargo del usuario cualquier modificación que sea necesaria realizar a las instalaciones existentes para lograr la interconexión, mismas que, en su caso, realizará bajo la supervisión del Suministrador y previa autorización de éste.

Para fines de facturación, el consumo de kWh del Generador, se determinará como la diferencia entre la energía eléctrica entregada por el Suministrador y la entregada por el Generador al Suministrador. Cuando la diferencia sea negativa, se considerará como un crédito a favor del Generador que podrá ser compensado dentro del periodo de 12 meses siguientes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el Generador renuncia a cualquier pago por este concepto. Cuando la diferencia sea positiva, se considerará como un crédito a favor del Suministrador y se facturará en la tarifa aplicable.

Un ejemplo del uso de este contrato, es un proyecto de la CFE y el gobierno de Baja California, con el apoyo del Banco Mundial, donde en octubre del 2006 impulsaron la instalación de 220 viviendas con paneles fotovoltaicos en el Fraccionamiento Valle de las Misiones, Mexicali, para contar con un kilowatt de capacidad de generación en cada vivienda (mayor información véase apartado 2.8.1.2).

3.5 POLÍTICAS PÚBLICAS DEL PODER LEGISLATIVO

El Poder Legislativo de los Estados Unidos Mexicanos se deposita en un Congreso General que se divide en dos cámaras, una de Diputados y otra de Senadores.

Dentro de sus principales aportaciones en el fomento y estímulo del uso de la energía solar en el sector residencial es la reforma en el 2005 a la Ley del ISR, la creación de la Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la Transición Energética y la Ley Federal de Derechos, en materia de hidrocarburos

3.5.1 LEY DEL ISR (ARTÍCULO 40 FRACCIÓN XII)

A partir de enero del 2005 una reforma en la Ley del Impuesto Sobre la Renta (ISR) por parte del Congreso de la Unión, publicada en el DOF en la sección II, artículo 40, fracción. XII, hace referencia a la subvención en la inversión en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables, donde se menciona que los contribuyentes del ISR que inviertan en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables, podrán deducir 100% de la inversión nominal (de acuerdo al artículo 44) en un solo ejercicio y con ello favorecer la protección del medio ambiente al disminuir el uso de combustibles fósiles. Dentro de las fuentes renovables se considera la energía solar en todas sus formas. La única condición es que lo dispuesto en esta fracción será aplicable siempre que la maquinaria y equipo se encuentren en operación o funcionamiento durante un periodo mínimo de 5 años inmediatos siguientes al ejercicio en el que se efectúe la deducción.

Con esta reforma se contribuye a que en México se aproveche en mayor medida su potencial para la generación de energía a través de fuentes renovables, como lo es la energía solar, con el otorgamiento de tratamientos fiscales favorables a quienes inviertan en esta materia.

3.5.2 LEY PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y EL FINANCIAMIENTO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

En diciembre del 2005 se aprobó en la Cámara de Diputados la iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE), en la que se establecía la creación de un Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía. Este programa definió como meta para el 2012, un porcentaje mínimo de participación de las energías renovables en sus distintas modalidades, respecto a la generación total de electricidad, (del 8%, sin incluir las grandes hidroeléctricas).

Esta ley fue la antesala para que el 28 de Noviembre del 2008 el Congreso de la Unión generara un decreto donde se expidió la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la

Transición Energética (LAERFTE), la cual tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética.

Asimismo, como resultado de esta ley, se elaboraron en coordinación con diversas dependencias en materia de energía, los siguientes documentos:

- *Políticas y Medidas para Facilitar el Flujo de Recursos Derivados de los Mecanismos Internacionales de Financiamiento*²⁷: este documento presenta las políticas y medidas que permitirán facilitar el flujo de recursos derivados de los mecanismos internacionales y nacionales de financiamiento relacionados con la mitigación del cambio climático.
- *La Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*²⁸: su objetivo es servir como el mecanismo para impulsar las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a alcanzar una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovable y las tecnologías limpias, promover la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.
- *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2009-2012*²⁹: constituye el documento rector de la política nacional en materia de energías renovables, al integrar los objetivos, estrategias y líneas de acción que requiere el país para lograr una transición energética. Su objetivo es promover el aprovechamiento de energías renovables, estableciendo objetivos y metas, así como las acciones necesarias para alcanzarlas.

Este último documento será la base para dirigir la utilización de las energías renovables en México, entre las que se encuentra el uso de la energía solar, (apartado 2), de manera que se reduzca la dependencia de los combustibles fósiles, se disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero y con ello se combatan los efectos del cambio climático. Los objetivos específicos que tiene este programa son:

- Impulsar el desarrollo de la industria de energías renovables en México
- Ampliar el portafolio energético del país, impulsando una mayor seguridad energética al no depender de una sola fuente de energía
- Ampliar la cobertura del servicio eléctrico en comunidades rurales utilizando energías renovables en aquellos casos en que no sea técnica o económicamente factible la conexión a la red.

Otro de los objetivos de esta ley es la promoción para la investigación y desarrollo de las tecnologías limpias para su aprovechamiento. Para cumplir con este objetivo, la ley instauro el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, al cual se destinarán tres mil millones de pesos en el Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2009 y cantidades similares para los años 2010 y 2011. El fondo contará con un comité técnico que emitirá las reglas para la administración, asignación y distribución de los recursos, con el fin de promover los objetivos de la estrategia.

Los recursos de este fondo están encaminados a otorgar garantías de crédito u otro tipo de apoyo financiero a los proyectos que cumplan los objetivos de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía mencionada anteriormente (SENER 2009e)^{ix}

²⁷ http://www.sener.gob.mx/webSener/res/0/Mecanismos_financiamiento.pdf

²⁸ <http://www.energia.gob.mx/webSener/res/0/EstrategiaNacionaldeEnergia.pdf>

²⁹ <http://www.sener.gob.mx/webSener/res/0/Programa%20Energias%20Renovables.pdf>

3.5.3 LEY FEDERAL DE DERECHOS, EN MATERIA DE HIDROCARBUROS

El 21 de Diciembre del 2005 el Congreso concibió un decreto en donde se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal de Derechos, en materia de hidrocarburos.

En esta ley de acuerdo al *artículo 254 Bis. PEMEX Exploración y Producción* estará obligado al pago anual del derecho para la investigación científica y tecnológica en materia de energía, aplicando la tasa del 0.65% al valor anual del petróleo crudo y gas natural extraídos en el año. El valor de estos productos se calculará de acuerdo con lo establecido en el artículo 258 de esta misma ley.

La recaudación anual que genere la aplicación del derecho a que se refiere este artículo se distribuirá de la siguiente forma:

I. El 63 por ciento al *Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos*, que se creará de conformidad con las disposiciones de la Ley de Ciencia y Tecnología, cuyo objeto será:

- a) La investigación científica y tecnológica aplicada, tanto a la exploración, explotación y refinación de hidrocarburos, como a la producción de petroquímicos básicos.
- b) La adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico en las materias señaladas en el inciso anterior.

II. El 2 por ciento al fondo mencionado en la fracción anterior con el objeto de formar recursos humanos especializados en la industria petrolera, a fin de complementar la adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico que impulsará dicho fondo.

III. El 15 por ciento al fondo de investigación científica y desarrollo tecnológico del *Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)*, conforme a lo establecido en la *Ley de Ciencia y Tecnología*, que se utilizará en las mismas actividades de las fracciones anteriores. De estos recursos, el IMP destinará un máximo de 5 por ciento a la formación de recursos humanos especializados.

IV. El 20 por ciento al *Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética*, que se creará de conformidad con las disposiciones de la Ley de Ciencia y Tecnología. Estos recursos se destinarán al financiamiento de proyectos, cuyo objeto será:

- a) La investigación científica y tecnológica aplicada, tanto a fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias y diversificación de fuentes primarias de energía.
- b) La adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico de las materias señaladas en el inciso anterior.

Las materias de investigación serán definidas por la Secretaría de Energía y los proyectos serán realizados exclusivamente por los institutos de investigación y de educación superior del país.

Es importante mencionar que los montos varían en los años de aplicación de esta ley. El artículo sexto de esta ley menciona que a partir de la entrada en vigor de este decreto (2008) y hasta el año 2011 el derecho para la investigación científica y tecnológica en materia de energía se determinará conforme a las siguientes disposiciones:

I. En el año 2008 se aplicará una tasa anual de 0.15 por ciento, cuya recaudación se distribuirá de la siguiente forma:

- a. El 53 por ciento al Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos.
- b. El 2 por ciento al Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos para la formación de recursos humanos.
- c. El 35 por ciento al Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Instituto Mexicano del Petróleo.
- d. El 10 por ciento al Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética.

II. En el año 2009 se aplicará una tasa anual de 0.30 por ciento, cuya recaudación se distribuirá de la siguiente forma:

- a. El 63 por ciento al Fondo Sectorial CONACYT- Secretaría de Energía-Hidrocarburos.
- b. El 2 por ciento al Fondo CONACYT- Secretaría de Energía-Hidrocarburos para la formación de recursos humanos.
- c. El 20 por ciento al Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Instituto Mexicano del Petróleo.
- d. El 15 por ciento al Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética.

III. En el año 2010 se aplicará una tasa de 0.40 por ciento, cuya recaudación se distribuirá de la siguiente forma:

- a. El 63 por ciento al Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos.
- b. El 2 por ciento al Fondo CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos para la formación de recursos humanos.
- c. El 15 por ciento para el Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Instituto Mexicano del Petróleo.
- d. El 20 por ciento al Fondo CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética.

IV. En el año 2011 se aplicará una tasa de 0.50 por ciento, cuya recaudación se distribuirá de la siguiente forma:

- a. El 63 por ciento al Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos.
- b. El 2 por ciento al Fondo CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos para la formación de recursos humanos.
- c. El 15 por ciento para el Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Instituto Mexicano del Petróleo.
- d. El 20 por ciento al Fondo CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética.

Los pagos provisionales a cuenta de este derecho, establecidos en el artículo 254 Bis de esta Ley, se calcularán aplicando la tasa anterior, según el año que corresponda.

Según el tercer informe de gobierno del 2009³⁰, el Estado Mexicano, con base en este artículo 254 Bis de la Ley Federal de Derechos, entregó 1,905 millones de pesos provenientes de la actividad petrolera para el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico en materia de hidrocarburos y desarrollo sustentable. De los cuales como se menciona anteriormente el 15% se dirigió al Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad (Fondo Sustentabilidad). Lo que representa un apoyo de casi 286 millones de pesos para la investigación y desarrollo tecnológico en energías renovables.

³⁰ <http://www.informe.gob.mx/informe/> consultado Mayo 2010

3.6 BARRERAS

En México, como en muchos otros países existen barreras las cuales obstaculizan o frenan la penetración del aprovechamiento de la energía solar a gran escala en el sector residencial.

Las barreras para el aprovechamiento de la energía solar según la literatura como EPA (2009)^{lxxi}, TECH4CDM (2010)^{lxxii}, Walker (2008)^{lxxiii}, entre otros, pueden ser clasificadas en económicas, técnicas-científicas, de infraestructura, institucionales, regulatorias y socio-culturales.

3.6.1 BARRERAS ECONÓMICAS

La barrera económica puede suponerse como la principal barrera para el desarrollo de un mercado de SFV y CSA. Esto debido a los altos costos iniciales de los SFV y los CSA, los elevados períodos de amortización y la falta de financiamientos adecuados y accesibles a la población en general. Para enfrentar esta barrera es importante el desarrollo de esquemas de financiamiento que amorticen los costos iniciales y fomenten el desarrollo de un mercado de estas tecnologías.

Otra barrera económica es el bajo costo de los combustibles tradicionales o también entiéndase como los subsidios a los energéticos otorgados por el gobierno federal. Esto genera que los SFV y CSA, no sean competitivos comparados a los precios de la electricidad, del gas natural y LP, dado que estos se mantienen artificialmente bajos por los subsidios. Cualquier recorte a estos subsidios, aumentaría directamente los nichos de mercado para el uso de las tecnologías de aprovechamiento solar en México.

3.6.2 BARRERAS TÉCNICAS-CIENTÍFICAS

La principal barrera técnica-científica para el uso de las tecnologías de aprovechamiento solar es la intermitencia en la radiación solar. Esta es inherente a esta tecnología por lo que no puede ser considerada una barrera para el desarrollo de las tecnologías. Otras considerables barreras técnicas que son estudiadas son: la baja eficiencia en la generación eléctrica de los sistemas fotovoltaicos frente a fuentes de generación convencional, las pérdidas térmicas en tanques de almacenamiento y conexiones de los calentadores solares^{lx}, así como la corrosión y degradación de componentes y materiales por exposición a la radiación solar y condiciones ambientales^{lxxiv}.

Aun y considerando estas barreras se puede considerar que los SFV y los CSA son tecnologías maduras y conocidas desde hace años, especialmente en los países más desarrollados donde el mercado ha alcanzado una cierta madurez. Pero en el caso de México, es importante el desarrollo y adaptar la tecnología actual a las condiciones locales de nuestro país.

3.6.3 BARRERAS DE INFRAESTRUCTURA

Los canales de distribución de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar en México son débiles. Hay pocos recursos humanos (proyectistas, instaladores y técnicos calificados) capaces de instalar y mantener los sistemas térmicos y fotovoltaicos en operación.

Esto también es debido a la baja demanda del uso de estas tecnologías en nuestro país. Esta falta de recursos humanos capacitados afecta la calidad de la instalación, lo que puede provocar: errores en los sistemas de control, mantenimientos deficientes, cálculo incorrecto de la demanda de energía eléctrica o agua caliente para uso domestico, dimensionado incorrecto, instalaciones ejecutadas distintas a las proyectadas, sombreadamiento del sistema debido a una deficiente instalación, entre otros.

Para enfrentar esta barrera es importante involucrar a las instituciones de educación públicas y privadas para la generación de recursos humanos especializados conforme la demanda aumente.

Otra barrera que se puede clasificar como de infraestructura es la falta de documentación técnica para llevar a cabo el diseño de las instalaciones (guías, programas de cálculo, etc.). En México existen pocos documentos técnicos y estos son muy generales como el caso de la guía de *INFONAVIT (2007)*^{lxxxv} que solo proporciona información general sobre la orientación de los dispositivos por ciudad, sin mencionar como llevarla a cabo, además de poseer una escasa difusión.

3.6.4 BARRERAS INSTITUCIONALES

Aun y cuando en México en los últimos años el gobierno federal ha mostrado un interés en el fomento al uso de las energías renovables, entre las que se encuentra la energía solar, por medio de la reciente *Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética y su Reglamento (LAERFTE)* y otras políticas mencionadas en el capítulo 3 de esta tesis, estas en general se encuentran en etapa de desarrollo y son inmaduras para el desarrollo de una extensiva penetración de las tecnologías solares a la sociedad en general.

Por lo que es necesario continuar y generar un mayor apoyo institucional, a nivel federal, estatal y municipal para el fomento del uso de CSA y SFV en particular en el sector residencial.

3.6.5 BARRERAS REGULATORIAS

La falta de un marco normativo adecuado que garantice que los sistemas cumplan con los requisitos técnicos que aseguren el correcto funcionamiento de la instalación es otra barrera a tener en cuenta. Es necesario dotar al mercado de un sistema de certificación en el que se evalúen los principales elementos de las tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, así como de un sistema de control que permita verificar el correcto funcionamiento de las instalaciones.

Además, los sistemas de certificación y control permiten aumentar la barrera de entrada y salida de los diferentes agentes del sector. Sin estas medidas, estos podrían abandonar el mercado sin cumplir con sus obligaciones, contribuyendo a aumentar la desconfianza de los usuarios sobre estas tecnologías.

3.6.6 BARRERAS SOCIO-CULTURALES

La poca información pública y el desconocimiento de las tecnologías FV y CSA por parte de los usuarios disminuyen la demanda del uso de estos sistemas. En otras ocasiones sucede que los potenciales usuarios conocen la existencia de la tecnología pero no tienen toda la información, por lo que existe una desconfianza a la hora de usar esta tecnología. Si se quiere desarrollar el mercado es necesario que exista un buen conocimiento y difusión pública de estas tecnologías.

En resumen se podría definir a las *barreras para el aprovechamiento de la energía solar en México* como:

- *Altos costos de inversión para SFV y CSA.*
- *Baja eficiencia en SFV y diversos problemas técnicos en CSA.*
- *Falta de capacitación de instaladores o recursos humanos capacitados.*
- *Incipientes e ineficientes políticas públicas*
- *Falta de normas para los fabricantes*
- *Desconfianza en el consumidor*
- *Desinformación en general*

3.7 TIPOS DE FINANCIAMIENTOS

En nuestro país existen pocos financiamientos y apoyos directos a los usuarios del sector residencial para la adquisición de SFV y CSA. Entre estos apoyos se encuentran los créditos de *INFONAVIT (Hipotecas verdes)*, *créditos FONACOT*, y financiamientos directamente por los vendedores de los SFV y CSA. También es de considerar que existen créditos en beneficio del comprador, si el vendedor posee un convenio con alguna institución bancaria, como sería créditos de 6 o 12 meses sin intereses.

3.7.1 CRÉDITO INFONAVIT (HIPOTECAS VERDES)

El programa hipotecas verdes del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), consiste en un crédito para viviendas nuevas que cuenta con un monto adicional de entre 10 mil y 16 mil pesos, *INFONAVIT (2010)*³¹, para que el derechohabiente pueda comprar una vivienda con ecotecnologías entre las que se encuentran los CSA.

Este tipo de hipotecas exige que la casa a comprar tenga incluidas algunas ecotecnologías para ahorrar energía y agua, como calentadores solares de agua, focos ahorradores, calentadores de bajo consumo de gas, llaves ahorradoras de agua, entre otras.

Los beneficios económicos que implican la incorporación de nuevas tecnologías entre las que se encuentra el uso de CSA en las viviendas, permiten que este incremento en el crédito otorgado al derechohabiente se pague por sí solo³¹.

Los requisitos para adquirir este crédito son:

- Ser derechohabiente del INFONAVIT con relación laboral vigente.
- Cumplir con la puntuación mínima requerida de 116 puntos.
- No haber tenido un crédito del INFONAVIT.
- El valor de la vivienda no debe rebasar 350 VSM³², en cualquier parte de la república mexicana.
- Este crédito sólo aplica para viviendas nuevas registradas en el INFONAVIT, con ecotecnologías.

Existe además otro programa federal similar al de Hipotecas Verdes, llamado "Esta es tu casa", el cual, consiste en un apoyo económico a personas de bajos ingresos que no puedan acceder al crédito de I INFONAVIT, esto a través de un subsidio federal, para adquirir una vivienda nueva o usada o un lote

³¹ Se estima ahorros mínimos de \$215.00 mensuales INFONAVIT(2010)

³² Montó de \$538,064 en el 2008, fuente INFONAVIT (2008)

con servicios, mejorar la vivienda, impulsar su producción social, autoconstruir o auto-producir vivienda.

Los requisitos para aplicar a este crédito son:

- El programa está dirigido a los trabajadores que no hayan sido beneficiarios de un subsidio Federal para vivienda ni en lo individual ni en lo familiar.
- Con ingreso individual, de hasta 2.6 veces el salario mínimo mensual del Distrito Federal (VSMMDF).
- Para créditos conyugales, de hasta 4 VSMMDF y ningún ingreso de cualquiera de los cónyuges, podrá ser mayor a 2.6 VSMMDF.
- Para adultos en madurez con más de 60 años de edad su ingreso individual será de hasta de 4 VSMMDF.

Es de notar que ambos programas hipotecarios están enfocados al sector de la población de bajos ingresos.

3.7.2 VIVIENDAS CON TECHOS SOLARES

La Cooperación Técnica Alemana (GTZ, por sus siglas en alemán) y el INFONAVIT, con el apoyo económico del Ministerio Federal Alemán del Medio Ambiente (BMU, por sus siglas en alemán), han puesto en marcha en México el proyecto "25 mil Techos Solares". A partir de junio del 2010 y hasta junio del 2012, se otorgarán 25 mil subsidios para apoyar con una parte del costo del sistema de CSA a derechohabientes del INFONAVIT que adquieran una vivienda ecológica a través del Crédito INFONAVIT con Hipoteca Verde y que no cuente con otro subsidio relacionado con su compra.

El subsidio proviene de la Iniciativa Internacional para la Protección del Clima (IKI, por sus siglas en alemán). Los recursos de esta iniciativa del BMU son generados por medio del Esquema de Comercio de Emisiones (ETS, por sus siglas en inglés) de la Unión Europea. Como medida innovadora de protección al clima, estos fondos se generan en un esquema de reducción de emisiones y al mismo tiempo, son reinvertidos en iniciativas que permitan fomentar acciones adicionales de mitigación y adaptación al cambio climático en países emergentes y en vías de desarrollo. El propósito del subsidio es disminuir el costo de los sistemas, y con ello, eliminar una de las principales barreras que impiden el uso de la tecnología y promover que el derechohabiente adquiera una vivienda ecológica con calentador solar de agua. Con ello, se busca que las familias que adquieran un sistema reduzcan su consumo de gas hasta en un 75% y por consiguiente, contribuyan a proteger el medio ambiente y generen ahorro en su economía.

El monto a otorgar del subsidio se aplicará conforme a la tabla siguiente:

Autorización de crédito (año)	Monto aproximado del subsidio en pesos *
2010	\$2,194.50
2011	\$1,650.00
2012	\$1,105.50

Tabla 14, Subsidio de Viviendas con techos solares. Fuente: INFONAVIT³³

*El monto en moneda nacional es aproximado debido a las variaciones del tipo de cambio Euro / Peso mexicano.

³³ [http://portal.infonavit.org.mx/wps/portal/OFERENTES_DE_VIVIENDA/Cual es tu actividad/Desarrollar vivienda/Viviendastechossolares/](http://portal.infonavit.org.mx/wps/portal/OFERENTES_DE_VIVIENDA/Cual_es_tu_actividad/Desarrollar_vivienda/Viviendastechossolares/)

Dentro de los requisitos, se especifica que el trabajador debe de ganar menos de 4VSMMDF³⁴ y no contar con algún otro subsidio para la compra del calentador solar de agua. Lamentablemente este proyecto solo estará vigente hasta el 30 de junio de 2012 o hasta agotar los recursos.

3.7.3 CRÉDITO FONACOT

El Fondo Nacional para el Consumo de los Trabajadores (FONACOT)³⁵ consiste en un crédito con descuento por nomina del trabajador, a una tasa baja de mercado, este crédito puede ser otorgado para la remodelación de una casa, lo cual supone la adquisición de equipos de CSA o SFV.

Las tasas anual de interés de este crédito varían desde un 10% hasta a un 33.5% (véase en la tabla 15).

Plazo (meses)	10% Sueldo Mensual*		15% Sueldo Mensual*		20% Sueldo Mensual*	
	Tasa Anual	Costo Anual Total (CAT)**	Tasa Anual	Costo Anual Total (CAT)**	Tasa Anual	Costo Anual Total (CAT)**
6	10.00%	16.70%	17.50%	25.60%	20.00%	28.60%
9	15.00%	21.30%	17.50%	24.30%	20.00%	27.40%
12	17.50%	23.50%	20.00%	26.60%	22.50%	29.70%
18	22.50%	28.60%	25.00%	31.80%	27.50%	35.00%
24	27.50%	34.40%	30.00%	37.70%	32.50%	41.10%
36	29.50%	36.20%	31.50%	38.90%	33.50%	41.60%

Tabla 15 Tasas y Costos Anuales Totales Crédito FONACOT. Fuente: FONACOT³⁶

*El porcentaje se refiere a la cantidad máxima, en cada caso, que se descontará al cliente de su sueldo mensual para pagar su crédito FONACOT.

**Costo Anual Total sin IVA en créditos denominados en moneda nacional para fines informativos y de comparación exclusivamente, calculado al 12 de abril de 2010.

Entre los requisitos para adquirir dicho crédito se encuentran:

- Tener 18 años de edad o más.
- Tener, por lo menos, un año laborando en la empresa actual y estar contratado por tiempo indeterminado al momento de tramitar tu crédito.
- La empresa donde trabajas debe estar afiliada al Crédito FONACOT.

Es de notar que este crédito puede ser otorgado independientemente del ingreso del trabajador. Lo cual supone que cualquier trabajador que gane un ingreso superior a un salario mínimo puede contar con dicho crédito.

³⁴ VSMMVDF: Veces Salario Mínimo Mensual Vigente del Distrito Federal.

³⁵ <http://www.fonacot.gob.mx>

³⁶ <http://www.fonacot.gob.mx/Paginas/TasasCATFonacot.aspx>

3.7.4 FINANCIAMIENTO POR PARTE DEL VENDEDOR DE LOS SISTEMAS.

Diversos vendedores de SFV y CSA en nuestro país como: *Solarite*³⁷, *Modulo Solar*³⁸, *Cero CO2*³⁹, *MEXSOL*⁴⁰, entre otros, ofrecen créditos para la adquisición de equipos de aprovechamientos de la energía solar a una tasa preferencial.

Estos créditos por lo general consisten en beneficios como 6 o 12 meses sin intereses en el uso de ciertas tarjetas de crédito de instituciones bancarias.

Otros apoyo para financiamiento por parte de los vendedores es el uso de TANDAS, donde al conjuntar varios compradores⁴¹, el pago inicial se amortiza, ya que se distribuye a un determinado periodo de pagos acordado con el vendedor y el número de compradores.

3.7.5 TARJETA DE CRÉDITO

Otra opción para la adquisición de equipos de aprovechamiento de la energía solar es el uso directo de una tarjeta de crédito de las diversas instituciones bancarias del país.

Una tarjeta de crédito es un instrumento a través del cual una institución, como emisor de la tarjeta, concede a su cliente mediante la suscripción de un contrato de adhesión, una línea de crédito revolving (CONDUSEF)⁴², hasta un importe determinado conocido como línea de crédito.

La línea de crédito posee una tasa de interés, esta es medida bajo el Costo Anual Total (CAT), según datos de la Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF), los porcentajes de las tasas de interés rondan desde 23.7% hasta 91.9%⁴³.

3.8 ESTUDIOS DE FINANCIAMIENTO DE SFV Y CSA EN MÉXICO.

El financiamiento de SFV y CSA no es algo nuevo y ha generado en la última década un reducido número de estudios para el análisis de las opciones actuales de nuestro país.

Estos estudios no han tenido una apreciable efectividad, ya que como se menciona anteriormente, todavía existen pocos e insuficientes financiamientos para adquirir las tecnologías planteadas en esta tesis y el uso de las tecnologías solares en nuestro país es incipiente.

³⁷ www.solarite.com.mx

³⁸ www.modulosolar.com.mx

³⁹ www.ceroco2.com.mx

⁴⁰ www.mexsol.com.mx

⁴¹ El caso de *modulosolar*, se puede participar en una Tanda con 5 o más compradores de equipos de CSA.

⁴² CONDUSEF, Un préstamo que puede seguirse disponiendo una vez pagado parcial o totalmente hasta el tope autorizado.

⁴³ http://portalif.condusef.gob.mx/tarjetas/compara_calc_2009.php CAT promedio del mes de Febrero 2010.

3.8.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En Abril del 2008 en Zacatecas, Zacatecas se llevó a cabo el *Taller de Mecanismos de Financiamiento en Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red* organizados por del *Instituto de Investigaciones Eléctricas, (IIE)*⁴⁴ y otras diversas instituciones.

Este pequeño taller de dos días consistió en una presentación de un panorama general del estado actual de los SFV interconectados a la red en el mundo. Mencionando el estado de los financiamientos desde un punto de vista empresa, mencionando en resumen que el crédito bancario en México es caro, desde un 13% hasta el 40% anual (*AMPER 2008*).

El acceder a un crédito, implica para las empresas un costo que se tiene que reflejar en los precios de venta, lo cual puede sacarlas de mercado frente a la competencia. Y afecta directamente al consumidor

Entre otros problemas se menciona que hay un cambio de leyes fiscales cada año, una recaudación de impuestos inapropiada, lo que hace más fácil y redituable el comercio informal, numerosos trámites para dar de alta una empresa, y apoyos gubernamentales dirigidos a la instalación de empresas extranjeras. *AMPER (2008)*⁴⁴

También se menciona el tema de financiamiento para el sector agropecuario por parte de *FIRCO*, el cual apoya por ejemplo en el caso de *Rastros TIF* (Tipo Inspección Federal) con un monto directo para infraestructura y equipamiento para rastros que incluyan las energías renovables, hasta por \$5 millones de pesos

En este taller lamentablemente no se mencionan las opciones de financiamiento para el sector residencial. Por lo que se sugiere que esta tesis puede contribuir como base para posteriores estudios.

Existen otro estudio para SFV por parte de *CONUUE* ya mencionado en el apartado 2.8.1.3, llamado "Nichos de Mercado para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México", *CONUUE (2010)*, en el cual tampoco son estudiadas las diversas opciones de financiamiento de los SFV para el sector residencial de nuestro país.

Este estudio se basa en los nichos de mercado de los SFV comparados con los costos de electricidad que pagaría el consumidor en cierto periodo de tiempo (mayor información véase apartado 2.8.1.3). Tomando un costo inicial como base de los SFV, sin hacer un estudio de las opciones actuales nacionales de financiamiento.

Aunque no toma como tal en este estudio, el pago de la electricidad entregada a la red, o mejor conocida como tarifas (feed-in) en la experiencia internacional, (*Klein et al., 2008; Ernst and Young, 2008; Mendonca, 2007; IEA, 2008; European Commission, 2008; REN21, 2009*) ha demostrado la capacidad de otorgar beneficios económicos, que podrían ser entendidos como apoyo en la amortización del costo inicial de un SFV.

⁴⁴ <http://www.iie.org.mx/proyectorfotovoltaico/eventos.php>

3.8.2 CALENTADORES SOLARES DE AGUA

Un estudio realizado por Ecoenergy en el 2006 para CONAE (2006)^{lxxvii} consistió en identificar y analizar alternativas financieras para la promoción del uso de Calentadores Solares de Agua en el sector doméstico mexicano

El análisis financiero practicado por Econergy indica que la mejor opción es incluir el costo del CSA como parte del crédito hipotecario al adquirir una vivienda. En efecto, si se toma el pago mensual del crédito hipotecario junto con la factura del combustible utilizado, el pago total con CSA está ligeramente por debajo del pago de la hipoteca y el combustible juntos sin CSA (véase tabla 16).

Bien adquirido con hipoteca INFONAVIT	Valor de la vivienda tipo (pesos)	Monto de la hipoteca (pesos)	Plazo de pago	Pago mensual de la hipoteca (pesos)	Ahorro mensual en consumo de combustible (pesos)	Costo real de la hipoteca al mes (pesos)
Casa con calentador de agua LPG y CSA	400,000	409,200*	20 años	4,212	-102	4,110
Casa con calentador de agua LPG	400,000	400,000*	20 años	4,129	0	4,129

Tabla 16 Comparación del gasto mensual ligado a la hipoteca utilizando diferentes tipos de calentadores, Fuente CONAE (2006)

* Incluye costo del calentador y su instalación.

El estudio analiza las diferentes opciones de mercado, también mencionadas en párrafos anteriores, (véase tabla 17)

El caso básico se puede tomar como el financiamiento de un CSA para un hogar que ya cuenta con gas natural o bien con gas LP. Sin embargo, existen hogares que cambian de éste al primero, al mismo tiempo que adquieren CSA. Si se consideran los ahorros generados por el cambio de combustible, el beneficio es mucho mayor. Esto sugiere que una estrategia atractiva para la distribuidora es ofrecer el CSA para inducir el cambio de gas LP a gas natural (véase tabla 17).

Tipo de financiamiento	Costo del CSA con instalación e IVA (pesos)	Pago Anual (pesos)	Plazo de pago (años)	VPN (10 años) (pesos)		Recuperación de la Inversión* (años)	
				LPG	Gas natural	LPG	Gas natural
Contado	9,200	N/A	N/A	-518	-2,560	5.98	7.55
Tarjeta de crédito	9,200	2,554.79	5	-765	-3,130	7.99	10.3
FONACOT	9,200	2,307.22	5	-43	-2,408	7.47	9.69
Tienda departamental	9,200	3,507.07	3	-281	-2,646	7.03	9.17
Hipoteca INFONAVIT	9,200	936.73	20	2,594	229	2.55	6.43
Hipoteca comercial	9,200	1,150.28	20	1,662	-703	3.93	9.19
Distribuidora de gas	9,200	3,393.44	3	-3,390	-4,692	6.87	8.99

Tabla 17 Alternativas financieras para la adquisición de CSA, Fuente CONAE (2006)

* Se utilizó la fórmula de Recuperación de la Inversión simple es decir sin utilizar tasa de descuento.

Los resultados generales del estudio nos indican que:

- El financiamiento hipotecario (INFONAVIT) da los mejores resultados de todos los casos analizados, (con un periodo de recuperación en el año 6.43, véase tabla 17)
- Los ahorros de gas LP son más atractivos que los de gas natural.

CAPITULO 4 - ESCENARIOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL SECTOR RESIDENCIAL EN MÉXICO.

4.1 INTRODUCCIÓN

En México existen pocos estudios prospectivos enfocados en la energía solar y en especial en el sector residencial. Entre estos pocos se encuentra el de *PROCALSOL* de *CONAE(2007)* enfocado en la implementación de calentadores solares de agua en varios sectores entre los que se encuentra el residencial. Mientras que para sistemas fotovoltaicos se encuentra el reciente estudio *“Nichos de Mercado para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México”* de *CONUEE (2009)*, que básicamente proporciona información sobre los nichos del uso de esta tecnología en el sector residencial y comercial, también es pequeño pero es importante mencionar el número de tesis de esta casa de estudios que se han basado en el estudio de este tema como son: Ortega, (2009), Flores (2009), Ramirez (2009)^{lxviii} entre otros. .

Este capítulo tiene como objetivo el de generar un estudio económico y ambiental prospectivo a un nivel usuario (caso unitario) y a un nivel colectivo o sectorial del aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica y térmica en el sector residencial mexicano.

4.2 METODOLOGÍA GENERAL

Para el desarrollo de los escenarios presentados en este capítulo, se parte del análisis separado de las dos tecnologías tratadas en esta tesis: sistemas fotovoltaicos (SFV) y calentadores solares de agua (CSA), para el sector residencial mexicano. Una vez obteniendo los resultados estos se integran y se obtiene un resultado total del uso de la energía solar en el sector residencial. En ambos casos la metodología de estudio es la siguiente:

1. Se presentan los principales parámetros e hipótesis a utilizar en el desarrollo de los escenarios y los casos unitarios.
2. Se desarrolla el caso unitario, considerando los sistemas actuales comerciales, con lo cual nos indicara que capacidades son las más rentables para el desarrollo del escenario macro del sector residencial.
3. Se desarrolla la línea base tomando como año de referencia el 2009, el total de viviendas para ese año de acuerdo a *CONAPO (2007)*.
4. Se analiza y desarrolla el escenario potencial de la tecnología analizada para el sector residencial Mexicano.
5. A partir del potencial se desarrollan los escenarios de instalación factible en el sector residencial Mexicano.
6. Una vez desarrollado los escenarios factibles de instalación se procede a un análisis costo-beneficio de las opciones donde se analiza el valor presente neto (VPN), la tasa de retorno de inversión (TRI) y el periodo de recuperación de la inversión (PRI).
7. Se desarrolla la evaluación ambiental basada en la mitigación de CO₂ al dejar de utilizar fuentes convencionales que generan GEI.
8. Se calcula el costo – beneficio de mitigación, que consiste en el costo o beneficio económico que implicaría la mitigación de CO₂.
9. Por último se hace una integración de los resultados de ambas tecnologías (SFV y CSA) para el análisis del uso de la energía solar en el sector residencial mexicano.

4.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

4.3.1 PARÁMETROS DE REFERENCIA

Ya que México es un país con un muy diverso medio ambiente, en este estudio se considera a una vivienda promedio independientemente de su latitud, su medio ambiente o estación del año y despreciando situaciones meteorológicas que afectarían el desempeño de estos sistemas, por lo que se recomienda a futuro un estudio con mayor detalle.

Para el desarrollo de los escenarios del sector residencial y el caso unitario utilizando la tecnología solar fotovoltaica se utilizan los siguientes parámetros y supuestos:

Parámetros de referencia: horas solares pico, eficiencia total del SFV, número de usuarios y consumo promedio de CFE, factor de emisión promedio de la generación eléctrica, eficiencia de una turbo gas 1 x 84.4, pérdidas técnicas por transmisión y distribución.

Parámetros económicos: costos actuales y prospectivos de los SFV, costos de operación y mantenimiento de los SFV, costo actuales y prospectivos de los combustibles de uso en una turbogás 1x 84.4, precios tarifas electricidad sector residencial, tasa de crecimiento de la tarifa eléctrica sector residencial, costos de subsidios a las tarifas del sector residencial, costos de mantenimiento de una turbogás, costos de transmisión y distribución de la energía eléctrica

Parámetros financieros: tasa de descuento, dólares constantes, factores de conversión.

Parámetros de referencia	Activo	Fuente
Horas solares pico promedio	5.2	SENER (2008)
Eficiencia total del SFV	73%	CONUUE (2009), SOLARTRONIC(2010)
Periodo de análisis (años)	20	Supuesto
Tipo de Sistema Fotovoltaico	Si-Policristalino	SOLARTRONIC (2010)
Vida útil del SFV	25 años	SOLARTRONIC (2010)
Número de Usuarios DAC	555,164	CFE (2010)
Consumo promedio usuarios DAC (kWh/Usuario)	478	CFE (2010)
Factor de Emisión generación eléctrica (tCO ₂ /kWh)	524	TÜV SÜD Industrie Service GMBH (2009)
Eficiencia Turbo Gas 1 x 84.4 (MW)	29.44%	COPAR (2009)
Pérdidas técnicas por transmisión y distribución	11.34%	Informe de Labores CFE (2009)

Parámetros económicos	Activo	Fuente
Costos actuales y prospectivos de los SFV	Véase anexo 4.1	SOLARTRONIC (2010), DOE (2008)
Costos operación y mantenimiento (O&M) SFV (costo del valor total del SFV)	0.80%	CONUUE (2009)
Costo actuales y prospectivos de los combustibles de uso en una turbogás 1 x 84.4	Véase anexo 4.1	CONAPO (2009)
Precios tarifas electricidad sector residencial	Véase anexo 4.1	CFE (2010)
Tasa de crecimiento del costo tarifa eléctrica sector residencial	3.00%	CONUUE (2009)
Costos O&M de una turbo gas 1 x 84.4 \$ (USD 2007) /MWH	\$16.64	COPAR (2009)
Costos de transmisión y distribución de la energía eléctrica \$ (USD 2007) /MWH	\$4.79	Matrices de cargos por servicios de transmisión y subtransmisión CRE (2008)
Parámetros financieros	Activo	Fuente
Tasa de descuento Caso Unitario (Usuario)	3%	Supuesto ⁴⁵
Tasa de descuento Escenario Sector Residencial	10%	Supuesto ⁴⁶
Moneda Constante	USD 2007	Supuesto ⁴⁷
Factor de conversión pesos-dolares	Véase anexo 4.1	Banco de México (2010)
Crecimiento de usuarios potenciales ⁴⁸	1.54%	INEGI-ENIGH (2008)

4.3.2 CASO UNITARIO

El caso unitario consiste en el estudio económico y de consumo eléctrico para un usuario residencial de CFE que adquiere un SFV.

Para esto, se consideraron los SFV interconectados a la red que se encuentran actualmente en el mercado que van desde 0.2 kWp hasta 5 kWp, tomando datos de SOLARTRONIC (2010). Después se tomaron las

⁴⁵ Se considera una tasa del 3% al considerar la tasa interbancaria menos la inflación reportada en los últimos 10 años BANXICO (2010)

⁴⁶ Se considera una tasa del 10% según estudios sectoriales de COPAR 2002.

⁴⁷ Se considera dólares del 2007 al pertenecer a un año previo a las crisis actuales económicas.

⁴⁸ Se considera el crecimiento promedio anual del ingreso corriente total per cápita del último decil (de más altos ingresos), en la serie histórica 1992-2008. (INEGI-ENIGH (2008))

tarifas eléctricas actuales reportadas en CFE (2010)⁴⁹. Las tarifas eléctricas se dividen en 8 (1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F y DAC). Estas son subdivididas según el clima de la región y con un límite domestico de alto consumo.

La tarifa domestica de alto consumo (DAC) se registra cuando el consumo promedio del usuario en un periodo de 12 meses es superior al límite de consumo definido por tarifa (véase tabla 18). Un ejemplo sería: en tarifa 1 el limite es 250kWh/mensuales, por lo que un usuario que consuma 251 kWh/mensuales o más, en un periodo superior a 12 meses consecutivos pasaría a formar parte de la tarifa DAC lo que representa un costo superior por kWh.

Tarifa CFE	Usuarios 2009	Porcentaje	Límite para pasar a alto consumo (DAC)
1	16,122,907	55%	250 kWh/mes
1A	1,707,053	6%	300 kWh/mes
1B	3,353,408	11%	400 kWh/mes
1C	4,556,094	15%	850 kWh/mes
1D	1,064,038	4%	1,000 kWh/mes
1E	958,500	3%	2,000 kWh/mes
1F	1,138,172	4%	2,500 kWh/mes
DAC	555,164	2%	
<i>Total</i>	<i>29,455,336</i>	<i>100%</i>	

Tabla 18 Usuarios por tarifa eléctrica sector residencial. Fuente CFE (2010)

Conociendo esta información se procedió a analizar los usuarios de mayor consumo eléctrico que representarían a los usuarios DAC reportados en el 2009, considerando un consumo promedio de 478 kwh/mensuales según datos reportados en CFE (2010).

Para la elaboración de este estudio se consideran los costos actuales de las tarifas eléctricas reportadas en CFE (2010) y una tasa anual de incremento del 3%, esto considerando datos reportados en CONUUE (2009) , donde mencionan una tasa de incremento en las tarifas eléctricas de un 8% nominal, pero en nuestro caso restamos la inflación reportada en los últimos años según datos de Banxico (2010)⁵⁰ que en promedio es aproximadamente un 5%, por lo que se asume una tasa de incremento en el precio de las tarifas de electricidad del 3%.

Para ejemplificar este estudio se compara la adquisición de un SFV de 2kWp en un usuario que pertenece a la Tarifa 1-DAC. Este usuario en promedio consume 478kwh/mensuales, pero con el uso del SFV el consumo mensual bajaría a 247 kWh/mensuales, (el SFV proporciona 231kWh/mensuales) por lo que dejaría de ser un usuario de alto consumo (DAC) y pasaría a un nuevo sistema tarifario en CFE lo que proporciona un ahorro económico en el periodo de 20 años

CALCULOS UNITARIOS USUARIOS TARIFA DAC

En la siguiente tabla 17 se muestra la comparación de diferentes capacidades de SFV (desde 0.2 a 4 kWp) en un usuario tarifa 1-DAC. Podemos observar que en SFV menores a 2 kWp el ahorro es pequeño y el periodo de recuperación (PRI) es alto. Esto debido a que el consumo eléctrico sigue perteneciendo a la tarifa DAC

⁴⁹ <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/PorTarifa.aspx> consultado Julio 2010

⁵⁰ <http://www.banxico.org.mx/PortalesEspecializados/inflacion/inflacion.html> consultado Julio 2010

(superior a 250kWh/mensuales) por lo que el usuario sigue pagando precios altos por su consumo eléctrico reduciendo su beneficio. En cambio con un sistema superior a 2 kWp los ahorros (VPN) tienden a aumentar y el PRI se eleva ya que los costos de SFV de capacidades más grandes son superiores a los ahorros que el nuevo sistema tarifario genera.

Capacidad Instalada SFV (kWp)	Consumo Hogar con SFV (kWh/mensuales)	VPN (USD 2007)	TIR	PRI (Años)
0.2	454.91	-\$216	1.44%	20.61
0.24	450.29	\$3	3.02%	17.27
0.46	424.89	\$751	6.17%	12.58
0.69	398.33	\$1,319	6.86%	11.8
1	362.54	\$1,535	5.94%	12.85
1.46	309.43	\$2,601	6.53%	12.16
2	247.08	\$12,732	15.62%	6.1
2.46	193.96	\$13,275	13.87%	6.83
3	131.62	\$12,522	10.65%	8.6
3.46	78.5	\$11,433	9.32%	9.55
4	16.15	\$9,543	7.68%	10.97

Tabla 19 Usuario tarifa 1 DAC, con un consumo de 478 kWh/mensuales frente a un SFV

La tabla 19 puede ser representada bajo el siguiente grafico, donde en azul se muestra el ahorro en miles de dólares y en rojo se presenta el periodo de recuperación (años) para un usuario de la "tarifa 1-DAC".

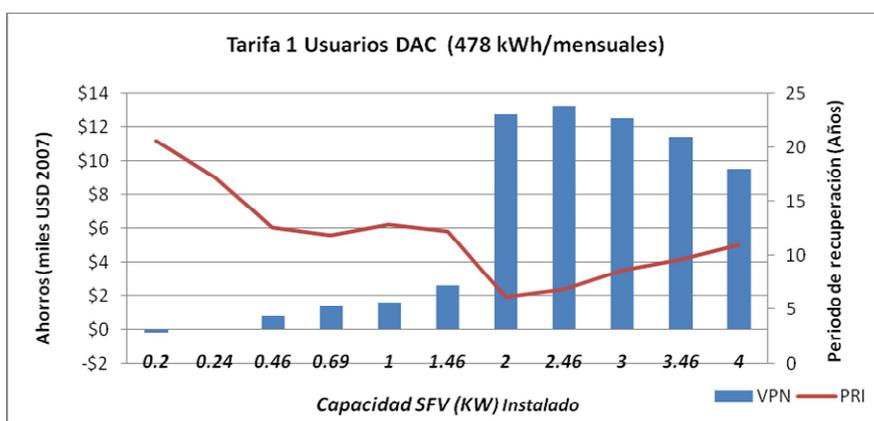


Gráfico 11. Usuario tarifa 1 DAC, con un consumo de 478 kWh/mensuales frente a distintas capacidades de SFV. Fuente: Elaboración propia

Bajo los resultados anteriores podemos concluir que un usuario de la tarifa 1-DAC con un consumo promedio de 478 kWh/mensuales, el adquirir un SFV de 2 kWp, le generaría un ahorro en el periodo de 20 años de \$12,732 y recuperaría la inversión inicial en un periodo de 6 años. Por lo que adquirir un SFV en este caso es muy rentable.

Siguiendo esta misma metodología se realiza el estudio para usuarios DAC dentro de las tarifas 1A, 1B (véase resultados en gráfico 12), con un consumo promedio por usuario de 478 kWh/mensuales.

Para tarifa 1C-DAC el consumo promedio de 478 kWh/mensuales esta dentro de la tarifa subsidiada (un usuario DAC necesita tener un consumo superior a 850 kWh/mensuales) por lo que se supone este usuario podría consumir un aproximado a 1000 kWh/mensuales.

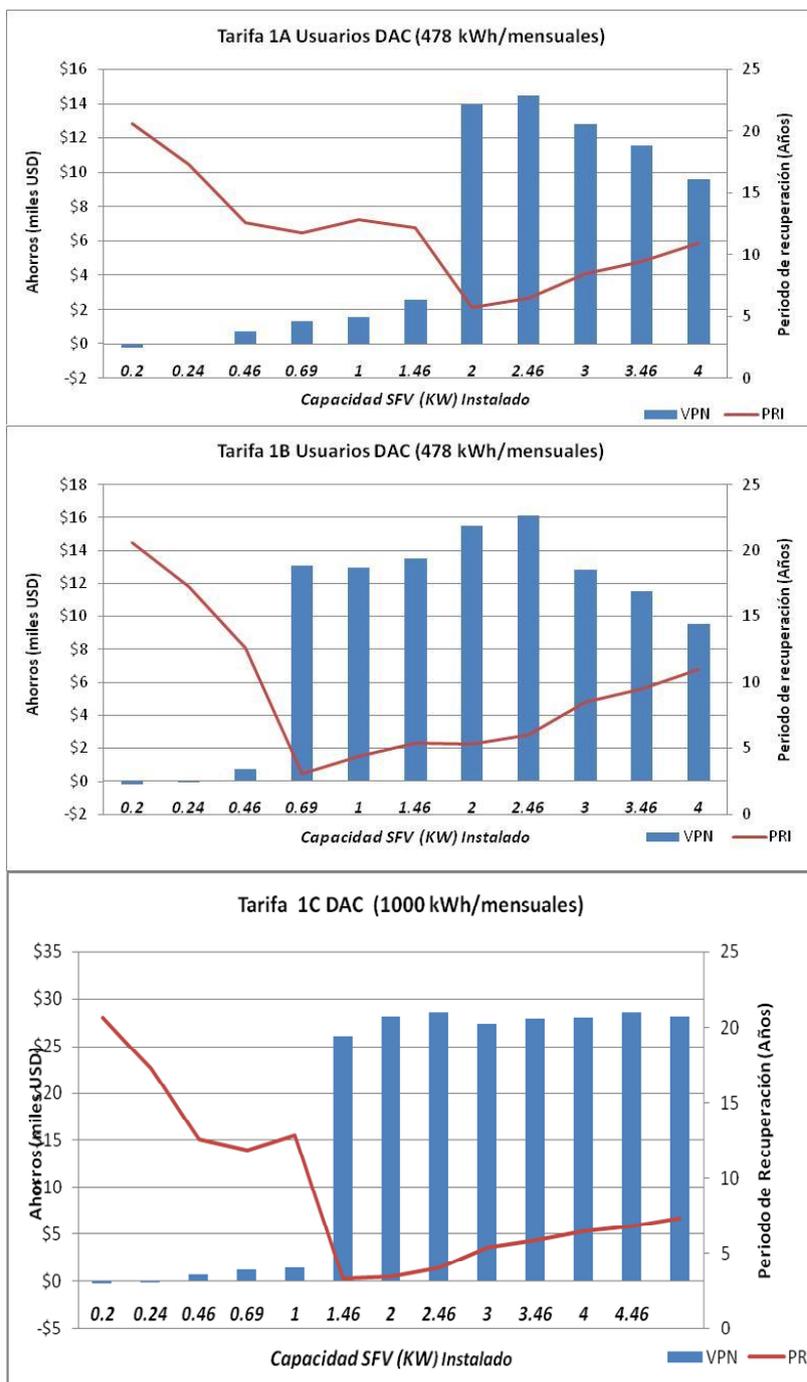


Gráfico 12 Usuario tarifa 1A-DAC, 1B-DAC y 1C-DAC con un consumo de 478 kWh/mensuales y 1000 kWh/mensuales frente a distintas capacidades de SFV. Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados, se deduce que los beneficios al adquirir un SFV varían dependiendo del consumo eléctrico de cada usuario y la tarifa que esté pagando. Los gráficos previos nos dan una idea de cuál es el mejor SFV para cada usuario en particular. Para fines del desarrollo del escenario sectorial consideramos que el SFV de 2kWp con ahorros promedios de \$15,000 y un periodo de recuperación de 6 años en promedio es un sistema que puede generar amplios beneficios a los usuarios DAC promedio.

4.3.3 LÍNEA BASE

Para el desarrollo de la línea base partimos de los 555,164 usuarios DAC para el año 2009 reportados en CFE (2010).

4.3.4 POTENCIAL

Una vez determinado en el caso unitario el SFV con mayores beneficios promedio (2kWp) dentro de los usuarios de mayor consumo eléctrico (DAC) en el sector residencial mexicano se procede a elaborar el potencial.

Partimos de los 555,164 usuarios DAC reportados en CFE (2010) y tomando el supuesto que este potencial crecería conforme un incremento según *INEGI-ENIGH (2008)* del ingreso promedio per cápita en un 1.54%⁵¹ lo que nos genera un primer potencial de 765 mil usuarios. Se asume que estos usuarios podrían utilizar un SFV de 2kWp, lo que equivale a una capacidad instalada de casi 1.1 GW generando un total de 7.63 PJ en los 20 años del periodo (véase gráfico 13).

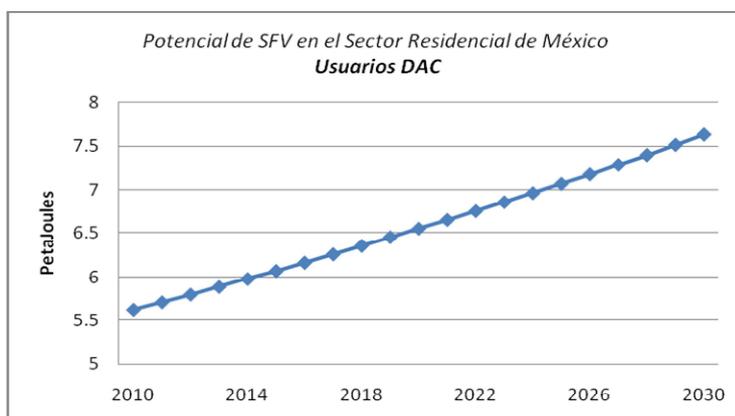


Gráfico 13. Potencial de SFV usuarios DAC Sector Residencial Mexicano. Fuente: Elaboración propia

4.3.5 ESCENARIO DE INSTALACIÓN FACTIBLE

Para la instalación factible se considera un supuesto de instalación progresiva como el realizado en el estudio de *CONAE (2007)*. Por lo que se considera un supuesto conservador de instalación factible en el periodo 2010-2015 de un 5%, en el periodo del 2016 -2020 del 10% y del 2020-2030, la tasa de instalación sería del 15%.

⁵¹ Se considera el crecimiento promedio anual del ingreso corriente total per cápita del último decil (de más altos ingresos), en la serie histórica 1992-2008.

Con esta tasa de instalación se estima que habrá casi 655.2 mil viviendas con un SFV de 2kWp para el 2030, lo que representaría una capacidad instalada de 957 MW, generando casi 6.54PJ para el año 2030 (véase gráfico 14).

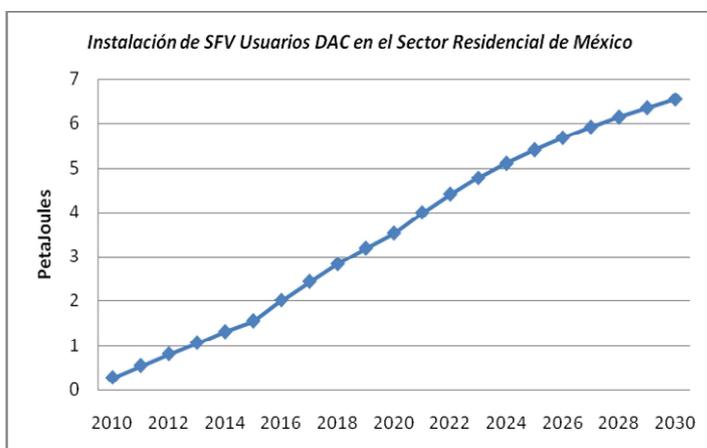


Gráfico 14. Instalación factible de SFV usuarios DAC Sector Residencial Mexicano. Fuente: Elaboración Propia

4.3.6 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Para el desarrollo del análisis costo-beneficio, se considera que el SFV de 2 kWp⁵², posee un precio de \$6,851 usd⁵³, incluyendo el costo de instalación, además se considera el uso de un medidor bidireccional con un precio de \$298⁵⁴. También se toma un costo de operación y mantenimiento de los SFV del 0.8% anual del valor total del equipo como lo reportado por CONUEE (2009).

Dentro de la evaluación se considera como beneficio los ahorros generados por usuario al dejar de pertenecer a una tarifa de alto consumo y pasar a otra tarifa, estos ahorros fueron calculados en los casos unitarios. Dado que no se conoce la cantidad de usuarios por tarifa se parte de ahorros más conservadores, estos son representados por los ahorros de la "tarifa 1-DAC". Estos ahorros podrían considerarse como lo que el usuario deja de pagar, en otras palabras ahorrar el gasto que el usuario debiera pagar por el kWh de una tarifa de alto consumo (véase cálculos anexo 4).

Otro importante aspecto considerado para el desarrollo de esta evaluación es una reducción de precios en los equipos fotovoltaicos conforme el tiempo, tomando en cuenta las prospectivas realizadas por la DOE [2008]⁵⁵. De acuerdo a esta fuente, la reducción de precios es afectada por el desarrollo tecnológico generando una mejor eficiencia y disminución de costos de manufactura, lo que proporcionaría un SFV de menor tamaño, y una reducción de precios al aumentar la producción. Por lo que tomando dichos datos se estima que para el año 2030 el watt instalado tendrá un costo de \$1.25, un precio moderado, tomando en consideración prospectivas reportadas por BP Solar (2006)⁵⁶ donde se hace mención a precios menores de un \$1/Watt instalado para el 2027 (véase en gráfico 15).

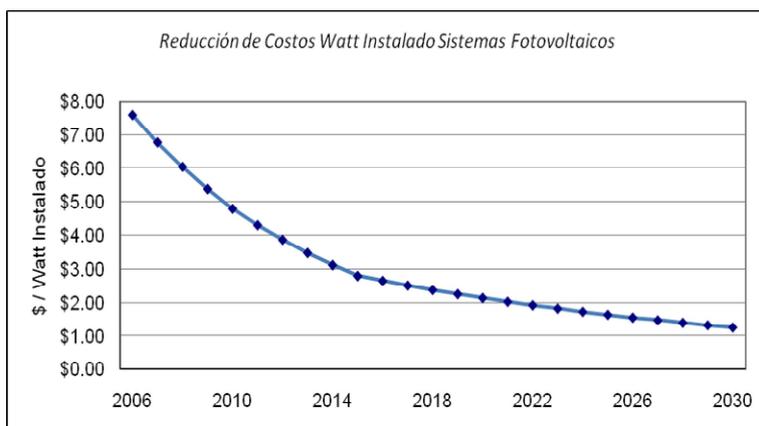
⁵² SOLARTRONIC (2010), 2Wp bajo condiciones estándar de prueba (STC), No. de parte: S165-S-1320, Módulo Fotovoltaico NE165, a una configuración del arreglo de 1x8 de tamaño 1.52x7.01m y un inversor SB1800.

⁵³ Precios de SOLARTRONIC (2010)

⁵⁴ Precios de SISTEMASEN (2010), <http://www.sistemasen.net/>, consultado Julio 2010

⁵⁵ DOE Perspectives on U.S. Solar Market Trajectory 2008

⁵⁶ David E. Carlson, The Status and Outlook for the Photovoltaics Industry BP SOLAR 2006



Grafica 15 Reducción de precios \$/watt instalado sistemas fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia con datos prospectivos DOE [2008]

Una vez obtenido los costos y beneficios que representarían la adquisición de SFV, podemos calcular los beneficios y costos al sector, a partir de la energía eléctrica ahorrada. Esta energía eléctrica es generada en las horas solares pico promedio que consisten en 5.2 horas (SENER 2008), estas se encuentran dentro de un horario de las 9 a las 17 horas en un día promedio (véase figura 15).

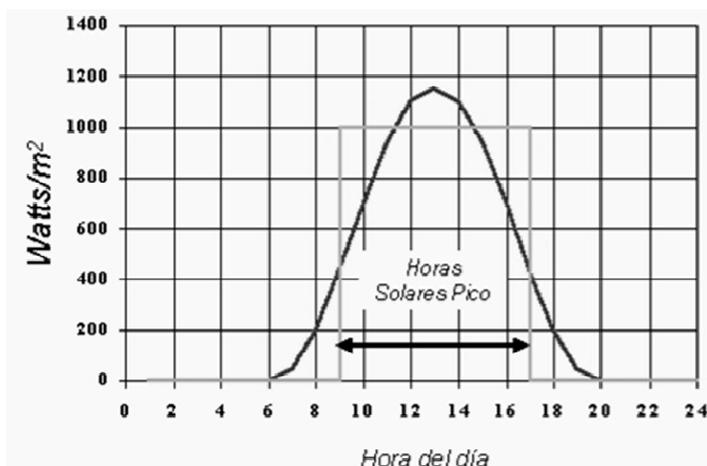


Figura 15 Horas Solares Pico día promedio. Fuente: www.re.sandia.gov

Ahora teniendo en cuenta que el generar electricidad por medio de paneles fotovoltaicos, se evitaría la generación de electricidad por métodos convencionales. Podemos asumir que evitaríamos el funcionamiento de alguna planta generadora en particular. Para esto nos basamos en el reporte de CENACE (2007), donde se indica que las plantas Turbo Gas trabajan en las horas pico (véase figura 16). Por lo que se asume que podríamos evitar el funcionamiento de una central de Turbogás industrial gas con una potencia bruta de 1 x 84.4 MW (COPAR 2009). No se considera la eliminación completa de esta central Turbogás, si no, se estima evitar los costos de uso de combustible, operación y mantenimiento, así como los costos de distribución y transmisión, y las pérdidas que se generan.

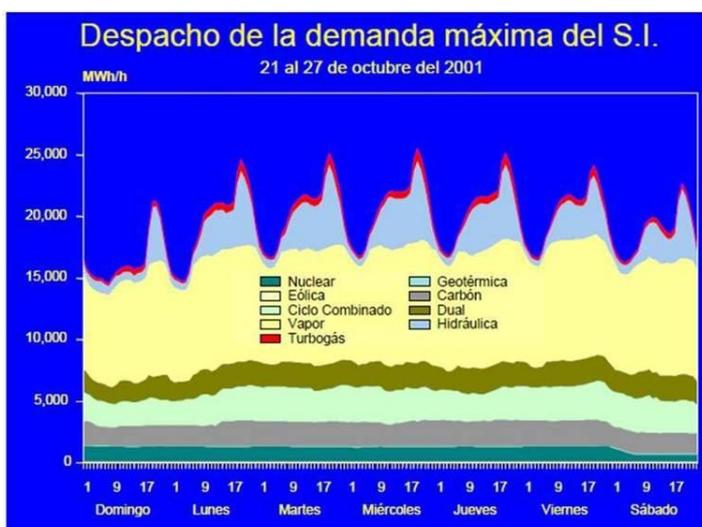


Figura 16 Despacho de la demanda máxima del Sistema Eléctrico Mexicano. Fuente: CENACE 2001

En el reporte de *SENER (2009c)*, se indica que en el 2010 existió una capacidad instalada de Turbo Gas de 2.49MW y se estima que para el 2024 este aumente ligeramente a 2.53MW (véanse tablas en anexo 4). Por lo que la factibilidad de instalación de SFV de los usuarios DAC de tan solo 957 MW se ajusta al total de Turbo Gas en operación para el 2030 en México.

Después continuamos calculando los costos del combustible no utilizado (esto al haber ahorrado energía eléctrica por medio de SFV) en una Turbo Gas con una eficiencia de 29.44% (*COPAR 2009*), bajo la suposición que una planta promedio utiliza 65% gas natural y 35% diesel (*CFE 2005*)^{lxxxix} para la generación de electricidad.

Tomamos los precios actuales y prospectivos del gas natural y el diesel bajo lo reportado en *COPAR (2009)*. (Véase tablas de precios en anexo 4). Y procedemos con la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de Combustible} = [(\text{Energía ahorrada}/\text{eficiencia}) * 65\% * \text{Costo Gas Natural}] + [(\text{Energía ahorrada}/\text{eficiencia}) * 35\% * \text{Costo Diesel}]$$

Los costos de operación y mantenimiento se calculan utilizando los costos fijos y variables de operación y mantenimiento reportados en *COPAR (2009)*, lo que resulta en \$16.64 /MWh.

Para el cálculo de los costos de transmisión y distribución se considera \$10.74/KWh (*CRE 2008*)^{lxxx}, Este costo se considera conservador, ya que los costos implicados en mantenimiento de equipos, pago a personal de mantenimiento y operación, costo de los vehículos de CFE y combustible utilizado etc., podrían ser mayores, por lo que se considera necesario un estudio más detallado en este caso.

Adicionalmente se consideran las pérdidas técnicas de distribución y transmisión que corresponden a 11.34% (*CFE 2009*)^{lxxxi}, del total de la energía entregada por las centrales eléctricas.

Todos los datos presentados anteriormente se consideran beneficios para el sector, ya que al dejar de producir electricidad por una Turbo Gas, se presentan dichos beneficios.

Un aspecto muy importante es considerar que un usuario que antes pertenecía a la tarifa (DAC) no obtenía, (o tal vez muy pocos) subsidios por parte del estado. El usuario que adquiere un SFV pasa de una tarifa no subsidiada a una con subsidio, por lo que esto representa un gasto al estado.

Considerando lo reportado en SIG (2008)^{lxxxii}, donde se establece que el subsidio que aporta el estado es aproximadamente: \$154.35/MWh⁵⁷, y conociendo cuanto sería el consumo de los usuarios en una tarifa subsidiada, podemos realizar los cálculos. Por ejemplo para el 2012 se asume que 81,687 usuarios DAC deberían consumir 469 GWh/ anuales pero al adquirir SFV su consumo baja a 242 GWh/ anuales. Este consumo estaría dentro de una tarifa subsidiada, lo que representaría un gasto del estado de casi 40 millones (véanse cálculos en anexo 4), esto al tener que pagar subsidios que antes no pagaba.

En el periodo de 20 años, se estima que el estado gastaría \$1,337 millones en subsidios. Pero con los ahorros que CFE adquiere al dejar de utilizar plantas Turbo gas, esto se reduce a \$325 millones. Esto representa un gasto considerable para el estado, por lo que se recomienda la elaboración de un estudio con mayor detalle sobre el sistema tarifario de CFE y sus subsidios, la creación de políticas públicas y la integración de los diversos apoyos internacionales como programas MDLs que puedan solventar dichos gastos.

Resultados

Una vez incluyendo los costos y beneficios de los usuarios, del sector eléctrico y el estado en el periodo de 20 años al dejar de consumir 6.54 PJ por métodos convencionales tendríamos un ahorro de \$1,670 millones en valor presente neto. Esto nos representa un muy alto beneficio, este beneficio sería en un ámbito sectorial. Por lo que el proyecto luce muy rentable en un nivel macroeconómico.

4.3.7 EVALUACIÓN AMBIENTAL

Es claro que el uso de SFV frente a la producción de electricidad por métodos convencionales representa un beneficio ambiental al dejar de utilizar combustibles fósiles.

Tomando la consideración de TÜV SÜD Industrie Service GMBH (2009)^{lxxxiii} donde estiman un factor de emisión de 0.524 tCO₂/MWh, podemos asumir una reducción de emisiones en el sector residencial del orden de 500 toneladas al año, que implicarían una emisión evitada acumulada al 2030 de aproximadamente 10.75 millones de toneladas de CO₂ equivalente (véase en grafico 16)

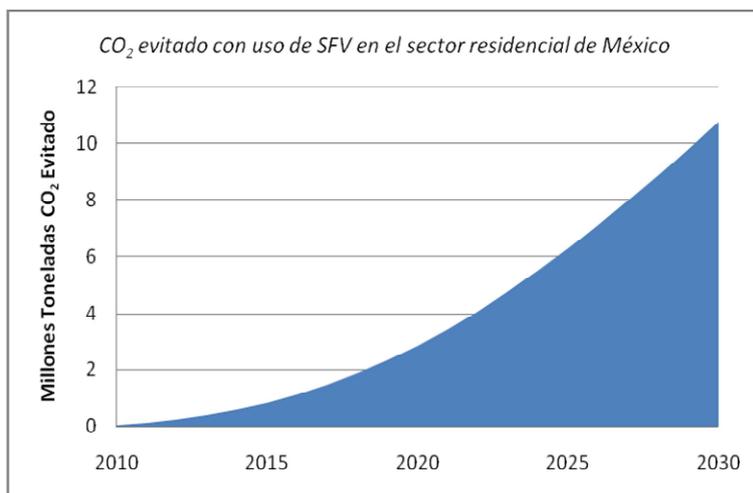


Grafico 16 CO₂ equivalente evitado por el uso de SFV en el sector residencial (usuarios DAC).
Fuente: elaboración propia.

⁵⁷ Se considera el precio medio de la tarifa domestica en (1.06 pesos 2008)/kilowatt-hora y el factor precio-costo de 0.39 reportado en CFE y LYF para el 2008.

4.3.8 COSTO-BENEFICIO DE MITIGACIÓN

Una vez obteniendo los ahorros económicos (\$1,670 millones) y los beneficios ambientales (10.75 millones de tons CO₂ equivalente) que representaría el uso de SFV en el sector residencial Mexicano, obtenemos los costos-beneficios de mitigación bajo la siguiente ecuación:

$$\text{Costo-Beneficio de Mitigación} = \text{VPN del proyecto} / \text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente evitadas}$$

El Beneficio de mitigación es de: \$155.34/tonelada evitada de CO₂ equivalente.

4.4 CALENTADORES SOLARES

4.4.1 PARÁMETROS DE REFERENCIA

Al igual que en el estudio de SFV se considera para CSA que México es un país con un muy diverso medio ambiente, por lo que la vivienda promedio es considerada independientemente de su latitud, su medio ambiente o estación del año y despreciando situaciones meteorológicas que afectarían el desempeño de estos sistemas.

Para el desarrollo de los escenarios del sector residencial y el caso unitario utilizando la tecnología solar térmica se utilizan los siguientes parámetros y supuestos:

Parámetros de referencia: recurso solar en México, eficiencia de conversión de un CSA, el tamaño del CSA, el tipo de CSA, la cantidad de agua por ducha individual, el calor específico del agua, el incremento en la temperatura para ducha, la cantidad de energía por ducha individual, la eficiencia del calentador convencional, los habitantes de una vivienda y el factor de emisión evitado al utilizar un CSA frente a un sistema de calentamiento convencional.

Parámetros económicos: costos actuales de un CSA, costo de un boiler convencional, costos de operación y mantenimiento de un equipo CSA, precio del GN al 2008, precio del GLP al 2008, incrementos esperados en precios de combustibles.

Parámetros financieros: tasa de descuento, dólares constantes, factores de conversión, crecimiento per cápita.

<i>Parámetros de referencia</i>	<i>Activo</i>	<i>Fuente</i>
Recurso solar promedio en México (kJoules/m ² día)	18,000	PROCALSOL (2007)
Eficiencia conversión CSA	50%	PROCALSOL (2007)
Tamaño CSA (m ²)	4	CIME (2010)
Tipo de CSA	Colector Solar Plano	CIME (2010)
Cantidad de Agua por ducha (litros)	75	PROCALSOL (2007)
		Pilatowsky (2009)
Calor Especifico Agua (kJ / kg °C)	4.187	PROCALSOL (2007)
Incremento Temperatura (°C)	25	PROCALSOL (2007)

Eficiencia Calentador Convencional	60%	PROCALSOL (2007)
Cantidad energía ducha individual (kJoules)	13,100	PROCALSOL (2007)
Habitantes promedio x Vivienda	4	PROCALSOL (2007)
Factor de emisión evitado	1m ² = 250 kg de CO ₂ al año	PROCALSOL (2007)

Parámetros económicos	Activo	Fuente
Costo Equipo CSA (USD 2007)	\$1,249.81	CIME (2010)
Costo Boiler Convencional (USD 2007)	\$105.83	CINSA (2010)
Costo instalación CSA (del costo del CSA)	45%	CONAE (2006), CIME (2010)
Costo instalación Boiler Convencional (del costo del boiler)	45%	CONAE (2006)
Costos operación y mantenimiento (O&M) Valor referente al costo del CSA	0.55%	CONAE (2006)
Costo Gas Natural al 2008 (USD 2007)	\$14.13	SENER (2009b)
Costo Gas LP al 2008 (USD 2007)	\$17.85	DOF (2009)
Incremento Gas LP ^[58]	3%	SENER (2009b) y BANXICO (2010)
Diferencia promedio entre costos GLP y GN ^[59]	20%	DOF (2009) y SENER (2009b)

Parámetros financieros	Activo	Fuente
Tasa de descuento Caso Unitario (Usuario)	3%	Supuesto
Tasa de descuento Escenario Sector Residencial	10%	Supuesto
Moneda Constante	USD 2007	Supuesto
Factor de conversión pesos-dólares	Véase anexo 4.1	Banco de México (2010)
Crecimiento usuarios potenciales ⁶⁰	1.66%	INEGI-ENIGH (2008)

4.4.2 CASO UNITARIO

⁵⁸ Según datos históricos del DOF 2002-2008 la tasa anual media de crecimiento del GAS LP fue de cerca del 8%, restando la inflación reportada en cada uno de los años por BANXICO (2010), obtenemos un incremento promedio del 3%. Otro dato a tomar en consideración es un decreto publicado en el DOF (28/09/07) donde se determina que para el año 2006 y 2007, se determinó que el precio al usuario final (promedio ponderado nacional de las regiones que los componen) del gas LP crecería a una tasa del 4% anual por lo que estimar un 3% se considera conservador y apto para este estudio.

⁵⁹ se considera que el gas natural tendrá una penetración en el sector residencial, debido entre varios factores a un posible bajos costo frente a Gas LP, por lo que se estima que este gas tendrá un precio inferior al Gas LP del 20% como lo observado en las fuentes históricas 2002-2008 de SENER (2009b)

⁶⁰ Se considera el crecimiento promedio anual del ingreso corriente total per capita de los últimos tres deciles (de más altos ingresos), en la serie histórica 1992-2008 INEGI.

Para el análisis de caso unitario, se parte de una vivienda que adquiere un CSA y se compara contra los costos que implicaría utilizar un sistema convencional de gas LP o gas natural. Se considera que el CSA tiene una vida útil de 20 años, por lo que no se necesita un remplazo, en cambio un boiler convencional de gas LP o natural, posee una vida útil de 10 años, por lo que se necesita un remplazo en dicho periodo.

Partimos de la suposición de *CONAE (2007)* donde para cubrir las necesidades de agua caliente para ducha, una vivienda promedio en México necesita 7,851 KJ netos y al tener una eficiencia del 50% en los equipos CSA, un promedio de habitantes de 4.4 por vivienda, y una radiación de 18,000 KJ se ocupa un calentador solar de 4m² por vivienda, con un precio de \$1,249.81 *usd* por equipo y un costo de instalación de \$562 *usd*⁶¹. Se asume una vida útil promedio de los sistemas de CSA en 20 años.

Mientras que un equipo convencional que cubra las mismas necesidades tiene un precio de \$105.83 (*CINSA 2010 y PROFECO 2006*)⁶² y suponemos un costo de instalación de \$47.62⁶¹. Se supondrá también de acuerdo a esta fuente de información los equipos convencionales ya sea que utilicen gas LP o gas natural tienen los mismo precios.

Estos equipos convencionales presentan una eficiencia alrededor del 60% *CONAE (2007)* por lo que para cubrir las necesidades de una vivienda promedio en un año se necesitan un poco más de 21 GJ de combustible. La vida útil de estos equipos se estima en 10 años (*PROFECO, 2006*).

Costo de combustibles

Utilizando datos reportados en el DOF (2010) y la SENER (2009b) obtenemos que en el 2008 el precio del Gas Natural alcanzo los \$14.13/GJ y el Gas LP \$17.85/GJ.

Para obtener los precios hacia el 2030 se consideraron las fuentes históricas ^[7] (2002-2008) del Gas LP, obteniendo una tasa media de crecimiento del 3%, por lo que se estima que para el año 2030 el Gas LP tendrá un costo de \$25.88 /GJ .

Para estimar el crecimiento del costo del gas natural, se considera que este gas tendrá una penetración en el sector residencial debido entre varias cosas al precio inferior que se ha reportado en las fuentes históricas 2002-2008 de SENER (2009b), lo por lo que se estima que este gas mantendrá un precio inferior al Gas LP del 20% . Para el año 2030 se considera un precio del gas natural en \$20.48/GJ (véase tabla en anexo 4.4).

Resultados Caso Unitario

Utilizando un CSA frente a un sistema convencional de Gas Natural nos genera un ahorro en VPN de \$3,069, a una TIR del 15.81%, y obtendríamos el retorno de nuestra inversión en el año 5.3.

Por otra parte comparando el CSA frente a un sistema convencional de Gas LP nos genera un ahorro en VPN de \$4,275, una TIR del 20% y un periodo de recuperación de inversión de 4.2 años.

Por lo que este último proyecto luce más rentable, esto debido al costo superior de los precios de Gas LP frente al Natural lo que se traduce en mayores ahorros económicos al dejar de consumir Gas LP.

4.4.3 LÍNEA BASE

⁶¹ Tomando un costo de instalación equivalente al 45% del valor del equipo *CONAE (2006)*

⁶² http://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2006/bol27_calentadores.asp consultado Mayo 2010.

Para la construcción de la línea base se parte del año 2009, donde según datos de CONAPO (2007) en ese año se registrarían en México un poco más de 26 millones de viviendas. Y se estima un llegar a 38 millones de viviendas en el 2030, con una tasa de crecimiento media anual de un 2%. (mayor información en apartado 2.1)

En nuestra línea base se supone que no existe una instalación de CSA en el sector residencial de México, ya que la capacidad instalada actual como se vio en el capítulo 2, es incipiente y poco representativa.

4.4.4 POTENCIAL

Para el desarrollo del potencial de CSA se parte de dos potenciales, el primer potencial representado por las viviendas existentes y un segundo potencial las viviendas nuevas esperadas para el 2030.

Viviendas existentes

Se parte del supuesto que en el año 2008 de acuerdo a la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares que realizó el INEGI (2005) se registraron 11 millones de viviendas que cuentan con calentadores de agua a base de gas. Según CONAE (2007) en el estudio PROCALSOL sólo el 30% del total de estas viviendas⁶³ tienen condiciones económicas para la compra de un calentador solar, lo cual resulta un primer potencial de 3.3 millones de viviendas que pueden instalar calentadores solares para cubrir sus necesidades de agua caliente para ducha.

Con esta suposición un primer potencial anual de viviendas con calentadores solares se calcula en 3.3 millones para el año 2010, lo cual considerando que el área de un calentador solar promedio para proveer de agua caliente en una vivienda es de 4m^2 CONAE [2007]⁶⁴, se infiere un potencial inicial anual de 13.2 millones de m^2 para instalación de colectores solares.

Este potencial se puede sin embargo incrementar debido a mejoras en el ingreso per cápita el cual para este trabajo se ha considerado en una mejora de 1.66% anual⁶⁰

En consecuencia este mismo porcentaje es el que se considera para acrecentar anualmente el potencial de viviendas existentes que podrían tener sistemas de calentador solar en el periodo 2010-2030. Estimado así un potencial acumulado de viviendas existentes para el año 2030 que podrían tener sistema de calentamiento solar sería de casi 4.5 millones de viviendas lo que representaría casi 18.3 millones de m^2 de sistemas de calentamiento solar. Este potencial representaría aproximadamente el 16.3% de las viviendas totales esperadas para el año 2030 (CONAPO 2005).

Para obtener unidades de referencia homogenizadas (PJ y GW_{th}) y poder comparar nuestros resultados frente a otros estudios nacionales e internacionales como el del PROCALSOL, el balance nacional, o el IEA-SHC (2009) consideramos los factores de $1\text{m}^2 = 850\text{ kWh/año}$ (SENER, 2009) y la equivalencia de 1 watt/hora es 3,600 Joule. y el factor de $1\text{m}^2 = 0.7\text{ kWth}$ (IEA-SHC 2009) por lo que los 18.3 millones de m^2 representan un poco más de 56 PJ o 12.8 GW_{th} (véase grafico 17).

Viviendas nuevas

⁶³ Podría considerarse como los primeros 3 deciles de la población en México con más altos ingresos INEGI-ENIGH (2008)

⁶⁴ Suposición de (CONAE, 2007) donde para cubrir las necesidades de agua caliente para ducha, una vivienda promedio en México ocupa 7,851 KJ netos y al tener una eficiencia del 50% en un CSA, una radiación promedio en México de 1000 kWh/m^2 , 5.2 horas solares, y un promedio de 4.4 personas por vivienda, se ocupa un calentador solar de 4m^2 por vivienda.

Para estimar este potencial se consideran la diferencia anual de viviendas nuevas anuales proyectadas por la CONAPO (2007). Se toma como lo hace CONAE (2007) que de esas viviendas solamente el 65% son unifamiliares, es decir, que tienen un área destinada a la instalación de sistemas solares. Al igual que en el caso de viviendas existentes se asumirá también que el 30% de esas viviendas nuevas tendrían capacidad de compra de colectores solares. Asimismo, para calcular el potencial anual de viviendas nuevas con poder de compra de colectores solares se va suponer también que será afectado por un efecto en la mejora del ingreso per cápita de 1.66% anual, y que en consecuencia crece con en ese mismo porcentaje.

Hechas esas suposiciones se estima (véase anexo 4.4) que en el año 2030 existirían en México 2.3 millones de viviendas con posibilidades de adquirir un CSA y asumiendo que el CSA consta de 4m^2 , nos representa un potencial de 9.25 millones de m^2 . En términos energéticos se traduce a un total de casi 28 PJ (Véase gráfica 17) o en unidades de capacidad térmica un poco más de 6.6 GWth.

Integrando ambos potenciales obtenemos que para el año 2030 existe un potencial de casi 27.6 millones de m^2 lo que equivale a 84.46 PJ o 19.3 GWth (véase gráfico 17)

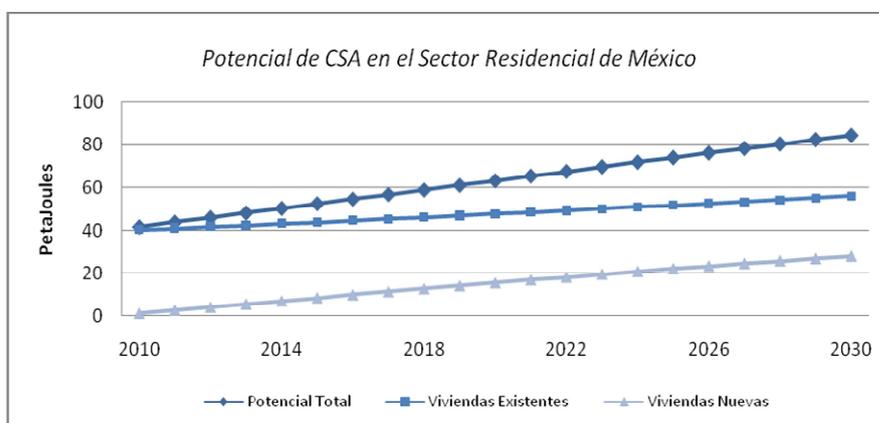


Gráfico 17. Potencial anual de colectores solares (PJ), 2010-2030, Sector Residencial de México.
Fuente: Elaboración propia

4.4.5 ESCENARIO DE INSTALACIÓN FACTIBLE

Una vez estimado el potencial total de calentadores solares (27.6 millones de m^2) se proceder a estimar el número anual de viviendas en las cuales es factible la instalación de un CSA. Esto para viviendas existentes y viviendas nuevas. En el caso de viviendas existentes, partimos de una primera instalación de 165,000 viviendas, de acuerdo a las suposiciones de CONAE (2007) que menciona una tasa de instalación progresiva. Del 2010 al 2012 a un 5% del potencial estimado. Para el periodo 2013 al 2020 se supondrá que esta cifra de un 15% y entre el año 2021 y 2030 se instala el equivalente al 30% del potencial estimado. Con estas suposiciones se estima que habrá 3.7 millones de viviendas existentes con CSA en el año 2030. Lo cual equivale a 14.92 millones de m^2 de CSA y en términos energéticos a un total de 45.6 PJ o 10.4 GWth (véase gráfica 18).

Para el caso de viviendas nuevas, se retoma lo supuesto por CONAE (2007) y partimos de una primera instalación de CSA en 11,750 viviendas para el 2010 lo que representa el 10% del potencial en ese año. Bajo las suposiciones de CONAE (2007) consideramos que este incremento aumenta en 10% anual, por lo que para el año 2019 se supone que el 100% del potencial de las viviendas nuevas instalaría un CSA. Para el periodo 2019-2030 se considera seguir la tendencia de instalación en el 100% de las viviendas nuevas. De esta manera se estima un acumulado de 1.78 millones de viviendas nuevas que tendrían CSA hacia el año

2030, representando 7.2 millones de m² o en términos energéticos un total de 22.19 PJ o 5 GWth. (Véase grafico 18)

Considerando la suma de viviendas nuevas y existentes factibles de instalar colectores solares, se tendría un total de 5.5 millones de viviendas en el año 2030 con colectores solares lo que representarían el 6% de las viviendas totales esperadas para el año 2030, lo que equivaldría aproximadamente a 22 millones de m² acumulados o en términos energéticos a 67.45 PJ o 15.43 GWth (véase grafico 18) (cálculos en anexo 4.4).

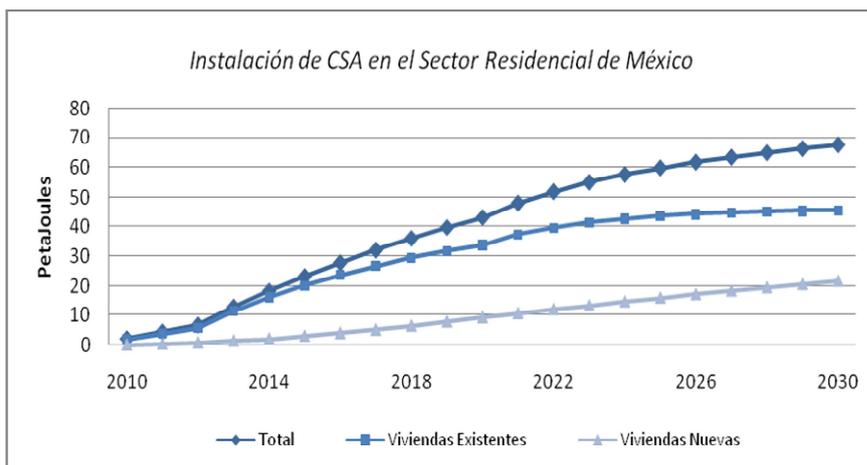


Grafico 18. Instalación factible anual de colectores solares (PJ), 2010-2030 sector residencial de México. Fuente: Elaboración propia

4.4.6 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Para el desarrollo de este análisis partimos en considerar que existirá un aumento en la penetración de las viviendas que consumen gas natural frente al gas LP (según datos prospectivos SENER (2009b)) por lo que se asume que en el 2009 la tasa de viviendas con gas natural frente a la de gas LP es 11% y 89%, respectivamente, llegando al 2030 a tasas del 20.9% y 79% respectivamente (véase grafico 19).

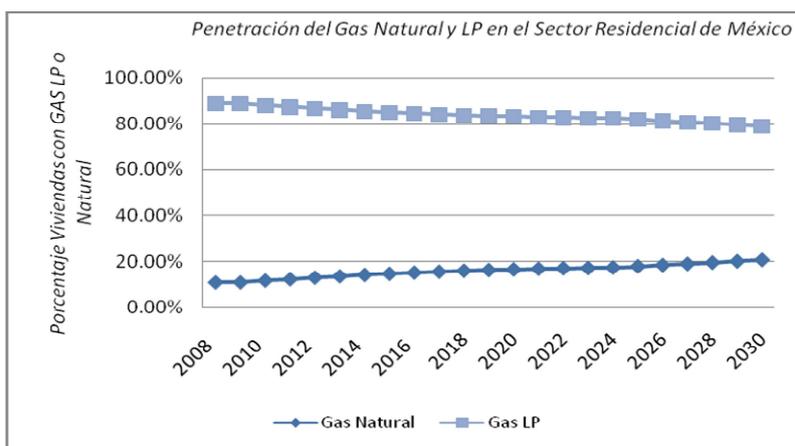


Grafico 19 Porcentaje de Viviendas con gas LP y Natural en México. Fuente Elaboración propia con datos de Prospectiva Gas Natural y Gas LP 2007 - 2016

Una vez teniendo la instalación factible (5.5 millones de viviendas en 20 años) podemos calcular los costos que implicarían los equipos, incluyendo su instalación y mantenimiento.

Resultados

Utilizando una tasa de descuento del 10%, y los parámetros económicos mencionados en el apartado 4.4.1 el VPN para el 2030 de estos equipos sería de \$4,521 millones, este gasto se compara contra los costos que representan utilizar equipos convencionales, estos ascienden a \$5,052 millones.

Por lo que tenemos que utilizar CSA en el sector residencial mexicano, representaría un beneficio de \$530 millones en un ámbito sectorial y una TIR de 12.55%.

A diferencia del estudio de SFV, en el caso de CSA, no se realiza un estudio más detallado, que implicarían otros ahorros, como puede ser el dejar de utilizar transporte para surtir gas LP a las viviendas, costos de transportación de gas Natural en ductos, costos de perdidas por ductos en viviendas, etc.

Aún así se muestra que el uso de CSA en el sector residencial en México, es factible y generaría amplios beneficios sectoriales.

4.4.7 EVALUACIÓN AMBIENTAL

El uso de calentadores solares frente a equipos convencionales representa un beneficio ambiental al dejar de utilizar combustibles fósiles de alto poder calorífico y de generación de CO₂ para el calentamiento de agua.

Tomando la consideración de CONAE (2007) donde se estima que 1 m²⁶⁵ de captador solar evita la emisión atmosférica de un equivalente de 250 kg de CO₂ equivalente al año, se obtiene que utilizando este tipo de tecnología se logra una reducción de emisiones en el sector residencial del orden de 3.5 millones de toneladas al año, que implicarían una emisión evitada acumulada al 2030 de aproximadamente 68.8 millones de toneladas de CO₂ (véase en grafico 20).

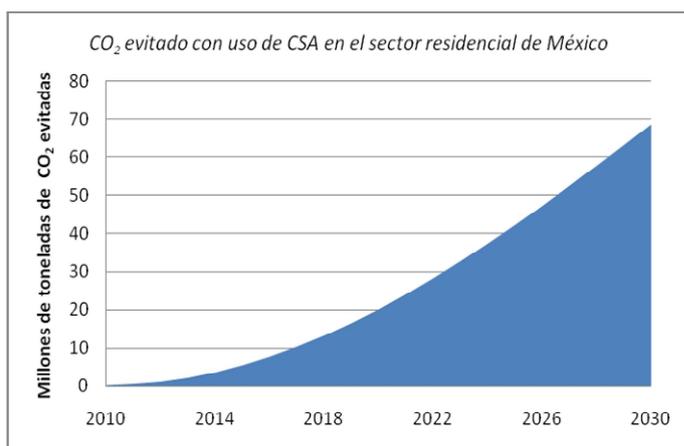


Grafico 20. Millones de toneladas de CO₂ equivalente evitadas por CSA en el sector residencial Mexicano
Fuente: elaboración propia.

⁶⁵ Con un aporte solar promedio equivale a cerca de los 850 kWh/año m², CONAE (2007)

4.4.8 COSTOS - BENEFICIOS DE MITIGACIÓN

Una vez obteniendo los ahorros económicos (\$530 millones) y los beneficios ambientales (68.8 millones de Tons CO₂ equivalente) que representaría el uso de calentadores solares en el sector residencial Mexicano, obtenemos los costos-beneficios de mitigación bajo la siguiente ecuación:

$$\text{Costo - Beneficio de Mitigación} = \text{VPN del proyecto} / \text{Toneladas de CO}_2 \text{ Evitada}$$

Obteniendo un Beneficio de de mitigación de: \$7.71/tonelada evitada de CO₂ eq.

4.5 INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

Como se observo en los apartados 4.3 y 4.4 el uso de las tecnologías de aprovechamiento solar representarían un beneficio económico y ambiental para el país.

Integrando ambos resultados, obtenemos que en México es factible en el periodo 2010-2030 dejar de consumir aproximadamente 74 PJ de energía convencional en el sector residencial, obteniendo ahorros de casi 2.2 mil millones de dólares y se evitaría una emisión cercana a 80 Toneladas de CO₂ equivalente a la atmosfera (véase tabla 20).

Uso de la energía solar sector Residencial México al 2030	SFV	CSA	Total
Ahorros Energéticos (PJ)	6.54	67.45	73.99
Ahorros económicos (millones USD 2007)	\$1,670	\$530	\$2,201
Ahorros Ambientales (millones tons CO ₂ evitadas)	10.75	68.78	79.53
Beneficio de Mitigación (\$/Tons CO ₂ evitado)	\$155.34	\$7.71	\$163.05

Tabla 20. Integración de resultados uso de las tecnologías solares en el sector residencial de México.
Fuente Elaboración propia.

4.6 ANALISIS DE BARRERAS Y ACTORES INVOLUCRADOS

En la siguiente tabla se presenta un análisis de las barreras más importantes y los actores que deberían involucrarse. Es importante mencionar que los métodos y procesos para la eliminación de barreras son con frecuencia tan diversos como el medio ambiente del país por lo que en la siguiente tabla se pretende abarcar de forma general las principales barreras y los actores generales que debieran involucrarse para el correcto desempeño de las acciones correctivas (véase tabla 21). Se sugiere un estudio a mayor detalle una vez definiendo tipo de actores y acciones en específico para combatir dichas barreras.

<i>Barrera</i>	<i>Acción Correctiva</i>	<i>Actores</i>
<i>Altos costos de inversión para SFV y CSA.</i>	Desarrollar esquemas de financiamiento para cualquier sector de la población, a partir de los ahorros generados a nivel sectorial.	SHCP, SENER, CONUEE
	Ofrecer información sobre costos y ahorros energéticos, económicos y ambientales y las ventajas fiscales que generaría.	Fabricantes y distribuidores, SENER
	Revisar y/o eliminar subsidios que ponen en desventaja el uso de estas tecnologías frente a fuentes convencionales	CFE, CRE, SHCP, SENER
<i>Baja eficiencia en SFV y diversos problemas técnicos en CSA.</i>	Apoyo en Investigación y desarrollo a nivel nacional y local, tanto en Universidades como la industria privada.	SHCP, SENER, CRE
<i>Falta de capacitación de instaladores o recursos humanos capacitados.</i>	Capacitación técnica a partir de nuevas carreras o cursos por parte de Universidades involucradas	Sector Académico, SEP, SENER
	Desarrollo de programas nacionales, seminarios y exposiciones de tecnología.	Sector Académico y de Investigación, SENER
<i>Incipientes e ineficientes políticas públicas</i>	Revisar las políticas públicas para fomentar el uso extensivo de las tecnologías solares.	Sociedades Civiles SENER, SHCP
	Análisis y reformas institucionales sobre los precios y subsidios de electricidad, GN y GLP	SHCP, CRE, SENER
<i>Falta de normas para los fabricantes</i>	Generación de normas y comprometer a los fabricantes, para la venta de equipo certificado	SENER, CRE, CONUEE
<i>Desconfianza en el consumidor</i>	Actualizar y ampliar las normas de los CSA y generar nuevas normas para SFV.	SENER, CRE, CONUEE
	Ofrecer información sobre costos y ahorros energéticos, económicos y ambientales y las ventajas fiscales que generaría.	Fabricantes y distribuidores, SENER
<i>Desinformación en general</i>	Campaña de concientización destinadas al público en general.	SENER, CRE, CONUEE

Tabla 21. Barreras, acciones correctivas y actores involucrados para el fomento del uso de las tecnologías solares en el sector residencial de México. Fuente Elaboración propia

5 CONCLUSIONES

La energía solar es una alternativa probada en varios países del mundo para generar electricidad y calentamiento de agua disminuyendo el consumo de combustibles fósiles y evitando la generación de gases efecto invernadero a la atmosfera (IEA-PVPS 2008), (IEA-SHC 2009).

En los últimos años (2008-2010) el estado mexicano (poder ejecutivo y legislativo) ha mostrado interés en el desarrollo de políticas públicas que fomenten el uso de las energías renovables entre ellas la energía solar en México, involucrando a muy diversos actores tanto federales, locales, públicos y privados. Pero el uso y aplicación de la energía solar en México es todavía incipiente.

De los resultados de este estudio se puede observar que los altos costos de capital iniciales de los SFV y los CSA, no representan una barrera insuperable para un cierto grupo de población en el sector residencial en México. Ya que se demuestra que un SFV podría ser adquirido por un usuario DAC de un consumo promedio de 478kWh/mensuales, recuperando su inversión inicial en un periodo de tan solo 6 años y obtener una ganancia en el periodo de 20 años de \$12,732.

Para calentadores solares de agua los ahorros aplican en forma más extensiva, ya que en una vivienda promedio que cuente con un sistema convencional (boiler) podría adquirir un CSA con ahorros sustanciales. En el estudio se obtiene que un CSA frente a un sistema convencional que utiliza gas natural nos genera un ahorro en VPN de \$3,069 obteniendo el retorno de la inversión en 5.3 años. Por otra parte comparando el CSA frente a un sistema convencional de gas LP nos genera un ahorro de \$4,275, y un periodo de recuperación de inversión de tan solo 4.2 años.

Por lo que también se puede confirmar que el uso de esta tecnología solar térmica a nivel usuario es muy rentable económicamente.

A nivel sectorial o macroeconómico, también se presenta una ventaja económica y ambiental. Siguiendo los escenarios presentados en esta tesis, el uso de SFV representaría un ahorro de \$1,670 millones para el país, evitando el uso de 6.54 PJ en el periodo de 20 años, lo que significa evitar la emisión de casi 11 millones de toneladas de CO_{2eq}. Esto representaría la instalación acumulada de 655 mil SFV, lo que equivaldría a cerca de un 2% de las viviendas esperadas por CONAPO (2005) para el 2030.

Un aspecto que CFE y la SHCP debe considerar es que el uso de SFV en el sector residencial generaría una nueva cantidad de usuarios que antes no captaban subsidios como son los usuarios DAC sobre los cuales se construyeron los escenarios de esta tesis. Por lo que en el periodo de 20 años, se estima que el estado gastaría \$325 millones que podrían ser solventados por la integración de diversos apoyos internacionales como programas MDLs.

Por otra parte el uso de CSA en el sector residencial significaría un ahorro al sector de \$530 millones, evitando casi 64.5PJ que eran proporcionados por combustibles convencionales (gas LP y Natural) y lo que nos proporciona una mitigación aproximada de 68.8 millones de toneladas de CO_{2eq} en 20 años. Esto significaría en la instalación de poco más de 5.5 millones de CSA para el 2030, representando aproximadamente un 14 % de las viviendas estimadas por CONAPO (2005).

Integrando ambos resultados obtenemos que el utilizar estas tecnologías comerciales evitaría el uso de 74 PJ de energía convencional al 2030, lo que representa casi el 10% de la energía consumida por el sector residencial en el 2008. Evitando la generación de cerca de 80 toneladas de CO_{2eq}. Además de generar un ahorro a nivel sectorial de poco más de \$2.2 mil millones, que podría ser utilizado para el financiamiento y/o

amortización de los altos costos iniciales de los SFV y CSA para estos u otros usuarios. Lo que facilitaría la extensiva penetración de estas tecnologías en el sector residencial.

Además gracias a este estudio se puede obtener una idea clara de cuáles son las barreras y quienes podrían apoyar para el adecuado fomento y penetración de la energía solar en el sector residencial. Un actor importante es la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) la cual podría apoyar con la promoción la energía solar en el sector residencial mexicano a través de incentivos fiscales y uso de los subsidios públicos suficientes para la financiación de SFV o CSA.

La SENER debe enfocar más recursos a informar a la población sobre la viabilidad técnica, económica y ambiental del uso de estas tecnologías. Además de la generación de normas instalaciones solares que promuevan la confianza del consumidor,

La Secretaría de Economía Se debe promover también la capacitación técnica a los instaladores y prestadores de servicios de mantenimiento de los dispositivos solares.

Anexo 4.3 Sistemas Fotovoltaicos

- Caso Unitario
- Potencial, Escenario Instalación Factible, Evaluación Ambiental
- Análisis Costo- Beneficio

Anexo 4.3 Sistemas Fotovoltaicos

Caso Unitario

Capacidad Instalada	2.00	KWatts
Horas Solares Pico	5.2	Horas
Dias al año	365	Dias
Eficiencia Total del Equipo	73%	
Generación Total	2771.08	kwh/anales
Costo Equipo	\$7,139.6	USD 2007
IVA	0%	\$7,139.56 USD 2007

Crecimiento Electricidad	3%
Tasa de Descuento	3%
Costo de O&M (Valor del SFV)	0.8%

Consumo Medio (kWh/Usuario/mensual)	
Consumo del Hogar	247.08 KWh/mensuales
Usuario DAC consumo prom.	478 KWh/mensuales
Tarifa DAC	NO SE UTILIZA ESTA TARIFA
Tarifa Excedente	SE UTILIZA ESTA TARIFA
Tarifa Basica	NO SE UTILIZA ESTA TARIFA
Periodo de Recuperación	6 año
Consumo Medio (kWh/Usuario/annual)	
Tarifa 1	2,965 KWh/anales
Usuario DAC	5,736 KWh/anales

PRECIOS TARIFAS		
Tarifa Basica 1 (inferior a 140kWh mensuales)		
Precio Medio	(Pesos 2009/kWh)	\$/USD 2007/kWh)
Bsico 1-75	75	\$0.694
Intermedio 75-140	65	\$0.823
Para consumo superior a 140 kWh mensuales		
Bsico 1-75	75	\$0.694
Intermedio 75-125	50	\$1.144
Excedente	125	\$2.428
Tarifa DAC Mayor a 250 kWh mensuales		
Cargo Fijo		\$70.995
Cargo por energia consumida (\$/kWh)		\$2.941

Conversión	2008	2009
Pesos /usd	11.44	12
Factor USD 2007	0.964319521	0.967760457
	11.86328779	12.39976268

NO SE UTILIZA ESTA TARIFA
Para consumo superior a 250kWh mensuales
Tarifa DAC Consumo promedio Nacional 478 KWh/mensuales
247.077 KWh/mensuales
Costo Annual \$771.90 Usd/Kwh anuales

SE UTILIZA ESTA TARIFA
Para consumo superior a 140 pero inferior a 250 kWh mensuales
Tarifa con SFV 247.0766667 KWh/mensuales
Basico \$4.199 Usd/Kwh mensuales
Intermedio \$4.614 Usd/Kwh mensuales
Excedente \$23.901 Usd/Kwh mensuales
Costo Mensual \$32.714 Usd/Kwh mensuales
Costo Annual \$392.572 Usd/Kwh anuales

NO SE UTILIZA ESTA TARIFA
Para consumo inferior a 140 kWh mensuales
Tarifa con SFV 247.0766667 KWh/mensuales
Basico \$4.199 Usd/Kwh mensuales
Intermedio \$11.428 Usd/Kwh mensuales
Costo Mensual \$15.627 Usd/Kwh mensuales
Costo Annual \$187.522 Usd/Kwh anuales

Anexo 4.3 Sistemas Fotovoltaicos

Caso Unitario

COSTO PROYECTO		Equipo				
Año	kWh Generado	Costo kWh Instalado	Op&Mto	Combustible	Total	
2009	0	\$7,140	\$0	\$0	\$7,140	
2010	1	\$0	\$57	\$0	\$57	
2011	2	\$0	\$57	\$0	\$57	
2012	3	\$0	\$57	\$0	\$57	
2013	4	\$0	\$57	\$0	\$57	
2014	5	\$0	\$57	\$0	\$57	
2015	6	\$0	\$57	\$0	\$57	
2016	7	\$0	\$57	\$0	\$57	
2017	8	\$0	\$57	\$0	\$57	
2018	9	\$0	\$57	\$0	\$57	
2019	10	\$0	\$57	\$0	\$57	
2020	11	\$0	\$57	\$0	\$57	
2021	12	\$0	\$57	\$0	\$57	
2022	13	\$0	\$57	\$0	\$57	
2023	14	\$0	\$57	\$0	\$57	
2024	15	\$0	\$57	\$0	\$57	
2025	16	\$0	\$57	\$0	\$57	
2026	17	\$0	\$57	\$0	\$57	
2027	18	\$0	\$57	\$0	\$57	
2028	19	\$0	\$57	\$0	\$57	
2029	20	\$0	\$57	\$0	\$57	
2030	21	\$0	\$57	\$0	\$57	
				VPN	\$8,020.01	

USUARIO

Con Sistema Fotovoltaico (consumo superior a los 140kWh pero menor a los 250 kWh del DAC)								
Año	Consumo Annual promedio DAC (kWh)	Costo Electricidad DAC	Consumo (kWh) con SFV	Costo Electricidad SFV-DAC	Ahorro Annual DAC-SFV	Beneficio Neto USD	Periodo de Recuperación	
2009	0					-\$7,140		
2010	1	\$1,429.13	2,965	\$392.57	\$1,036.56	\$979		
2011	2	\$1,472.00	2,965	\$404.35	\$1,067.65	\$1,011		
2012	3	\$1,516.16	2,965	\$416.48	\$1,099.68	\$1,043		
2013	4	\$1,561.65	2,965	\$428.97	\$1,132.67	\$1,076		
2014	5	\$1,608.50	2,965	\$441.84	\$1,166.65	\$1,110		
2015	6	\$1,656.75	2,965	\$455.10	\$1,201.65	\$1,145		
2016	7	\$1,706.45	2,965	\$468.75	\$1,237.70	\$1,181	\$1,181	
2017	8	\$1,757.65	2,965	\$482.81	\$1,274.83	\$1,218	\$1,218	
2018	9	\$1,810.38	2,965	\$497.30	\$1,313.08	\$1,256	\$1,256	
2019	10	\$1,864.69	2,965	\$512.22	\$1,352.47	\$1,295	\$1,295	
2020	11	\$1,920.63	2,965	\$527.58	\$1,393.04	\$1,336	\$1,336	
2021	12	\$1,978.25	2,965	\$543.41	\$1,434.84	\$1,378	\$1,378	
2022	13	\$2,037.59	2,965	\$559.71	\$1,477.88	\$1,421	\$1,421	
2023	14	\$2,098.72	2,965	\$576.50	\$1,522.22	\$1,465	\$1,465	
2024	15	\$2,161.68	2,965	\$593.80	\$1,567.88	\$1,511	\$1,511	
2025	16	\$2,226.53	2,965	\$611.61	\$1,614.92	\$1,558	\$1,558	
2026	17	\$2,293.33	2,965	\$629.96	\$1,663.37	\$1,606	\$1,606	
2027	18	\$2,362.13	2,965	\$648.86	\$1,713.27	\$1,656	\$1,656	
2028	19	\$2,432.99	2,965	\$668.33	\$1,764.67	\$1,708	\$1,708	
2029	20	\$2,505.98	2,965	\$688.38	\$1,817.61	\$1,760	\$1,760	
2030	21	\$2,581.16	2,965	\$709.03	\$1,872.13	\$1,815	\$1,815	
						\$12,731.70	\$1,181	
							15.621%	

Resultados	
VPN Beneficios	\$20,253.20
VPN Equipo (Costos)	\$8,020.01
Pagos anuales beneficios	\$1,314
Periodo de recuperación	6

Anexo 4.3 Sistemas Fotovoltaicos

Potencial, Escenario Instalación Factible, Evaluación Ambiental

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Viviendas en México (CONAPO 2007)	26 709 680	27 294 756	27 880 737	28 466 745	29 051 124	29 633 076	30 212 863	30 790 321	31 363 805	31 932 230	32 497 443	33 061 322	33 617 389	34 158 948	34 686 953	35 205 613	35 719 329	36 220 755	36 702 270	37 165 580	37 614 402	38 053 202
Crecimiento de Viviendas		2.19%	2.15%	2.10%	2.05%	2.00%	1.96%	1.91%	1.86%	1.81%	1.77%	1.74%	1.68%	1.61%	1.55%	1.50%	1.46%	1.40%	1.33%	1.26%	1.21%	1.17%

Potencial	
Viviendas DAC	555,164
Crecimiento de los Deciles	1.5%

Viviendas (Usuarios DAC)Factibles de Adquirir un Equipo	555,164	563,714	572,395	581,210	590,160	599,249	608,477	617,848	627,363	637,024	646,834	656,795	666,910	677,180	687,609	698,198	708,950	719,868	730,954	742,211	753,641	765,247
---	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Sistema FV por Vivienda (Capacidad Instalada)	2.00	Kwp
Horas Solares Pico	5.2	Horas
Dias al año	365	Dias
Eficiencia Total del Equipo	73%	

Capacidad de Generación por Vivienda anual	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Capacidad Instalada por vivienda (MW)	823	836	849	862	875	888	902	916	930	944	959	974	989	1,004	1,019	1,035	1,051	1,067	1,084	1,100	1,117	
Total de Generación [GWh]/anuales	1562	1586	1611	1635	1661	1686	1712	1738	1765	1792	1820	1848	1877	1905	1935	1965	1995	2026	2057	2088	2121	
Total de Generación [PJ]	5.62	5.71	5.80	5.89	5.98	6.07	6.16	6.26	6.35	6.45	6.55	6.65	6.76	6.86	6.97	7.07	7.18	7.29	7.40	7.52	7.63	

Instalación Factible	
Factibilidad	
2010-2015	5%
2016-2020 tmea	10%
2021-2030 tmea	15%

Potencial Real (Potencial acumulado-viviendas ya instaladas)	555,164	563,714	544,209	525,813	508,473	492,138	476,760	462,292	425,578	392,682	363,224	336,862	313,291	276,568	245,511	219,274	197,135	178,482	162,796	149,633	138,618	129,432
Instalación en Viviendas	28,186	27,210	26,291	25,424	24,607	23,838	46,229	42,558	39,268	36,322	33,686	46,994	41,485	36,827	32,891	29,570	26,772	24,419	22,445	20,793	19,415	
Acumulado de Viviendas	28,186	55,396	81,687	107,110	131,717	155,555	201,785	244,342	283,611	319,933	353,619	400,613	442,098	478,925	511,816	541,386	568,158	592,578	615,023	635,815	655,230	

Consumo Total de Energía	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Consumo Total de Energía	162	318	469	614	756	892	1,157	1,402	1,627	1,835	2,028	2,298	2,536	2,747	2,936	3,105	3,259	3,399	3,528	3,647	3,758	
Consumo menos Generación de SFV (GWh)	84	164	242	318	391	461	598	724	841	949	1,048	1,188	1,311	1,420	1,517	1,605	1,685	1,757	1,823	1,885	1,943	
Capacidad Instalada acumulada (MW)	41	81	119	156	192	227	295	357	414	467	516	585	645	699	747	790	830	865	898	928	957	
Total de Generación [GWh]/año	78.10	153.51	226.36	296.81	365.00	431.06	559.16	677.09	785.91	886.56	979.91	1110.13	1225.09	1327.14	1418.28	1500.22	1574.41	1642.08	1704.28	1761.90	1815.69	
Total de Generación [PJ]	0.28	0.55	0.81	1.07	1.31	1.55	2.01	2.44	2.83	3.19	3.53	4.00	4.41	4.78	5.11	5.40	5.67	5.91	6.14	6.34	6.54	

Costos																						
Tasa de crecimiento Costos SFV	-10.85%	-10.22%	-10.22%	-10.22%	-10.22%	-10.22%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%	-5.23%
Costo esperados por equipo	\$7,140	\$6,365	\$5,714	\$5,130	\$4,606	\$4,135	\$3,713	\$3,518	\$3,334	\$3,160	\$2,994	\$2,838	\$2,689	\$2,548	\$2,415	\$2,288	\$2,169	\$2,055	\$1,948	\$1,846	\$1,749	\$1,657
Costos millones Usd	\$179	\$155	\$135	\$117	\$102	\$89	\$163	\$142	\$124	\$109	\$96	\$126	\$106	\$89	\$75	\$64	\$55	\$48	\$41	\$36	\$32	

Beneficios Usuario																						
Consumo (GWh)	84	164	242	318	391	461	598	724	841	949	1,048	1,188	1,311	1,420	1,517	1,605	1,685	1,757	1,823	1,885	1,943	
Consumo Acumulado	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965	2,965
Ahorros por usar tarifa DAC USD 2007 / usuario	84	248	490	808	1,198	1,659	2,258	2,982	3,823	4,772	5,820	7,008	8,319	9,739	11,256	12,861	14,546	16,303	18,126	20,011	21,954	
Ahorros x Usar tarifa con SFV/anuales	1,037	1,068	1,100	1,133	1,167	1,202	1,238	1,275	1,313	1,352	1,393	1,435	1,478	1,522	1,568	1,615	1,663	1,713	1,765	1,818	1,872	
Ahorros Usuarios DAC Millones USD 2007	\$29	\$59	\$90	\$121	\$154	\$187	\$250	\$311	\$372	\$433	\$493	\$575	\$653	\$729	\$802	\$874	\$945	\$1,015	\$1,085	\$1,156	\$1,227	

CO2 Evitado																					
Factor de Conversión:	524	Ton CO2 / Gwh/año																			
CO2 Evitado (Miles Tons)	0.04	0.08	0.12	0.16	0.19	0.23	0.29	0.35	0.41	0.46	0.51	0.58	0.64	0.70	0.74	0.79	0.82	0.86	0.89	0.92	0.95
Acumulado CO2	0.04	0.12	0.24	0.40	0.59	0.81	1.11	1.46	1.87	2.34	2.85	3.43	4.07	4.77	5.51	6.30	7.12	7.98	8.88	9.80	10.75

Anexo 4.3 Sistemas Fotovoltaicos
Análisis Costo- Beneficio

Tasa de Descuento	10%
Op/mto	0.80%
Aumento Electricidad	3%

Consumo Usuarios 478 kWh/mensuales

COSTOS

Con Proyecto	Costos de Inversion Millones Usd	Consumo GWh por Usuarios (aun con SFV)	Costos Op/Mtto.	Ahorros a Usuarios	Total Millones Usd
2010	-\$179	84	-\$1.44	\$29	-\$152
2011	-\$155	164	-\$1.24	\$59	-\$98
2012	-\$135	242	-\$1.08	\$90	-\$46
2013	-\$117	318	-\$0.94	\$121	\$3
2014	-\$102	391	-\$0.81	\$154	\$51
2015	-\$89	461	-\$0.71	\$187	\$98
2016	-\$163	598	-\$1.30	\$250	\$86
2017	-\$142	724	-\$1.14	\$311	\$168
2018	-\$124	841	-\$0.99	\$372	\$247
2019	-\$109	949	-\$0.87	\$433	\$323
2020	-\$96	1,048	-\$0.76	\$493	\$396
2021	-\$126	1,188	-\$1.01	\$575	\$447
2022	-\$106	1,311	-\$0.85	\$653	\$547
2023	-\$89	1,420	-\$0.71	\$729	\$639
2024	-\$75	1,517	-\$0.60	\$802	\$727
2025	-\$64	1,605	-\$0.51	\$874	\$810
2026	-\$55	1,685	-\$0.44	\$945	\$890
2027	-\$48	1,757	-\$0.38	\$1,015	\$967
2028	-\$41	1,823	-\$0.33	\$1,085	\$1,044
2029	-\$36	1,885	-\$0.29	\$1,156	\$1,119
2030	-\$32	1,943	-\$0.26	\$1,227	\$1,194
	-\$1,026			\$3,029	\$1,995

Subsidio	
1.06	\$(pesos2008)/kWh
0.39	Precio-Costo
\$1.66	Pesos 2008/ kWh
0.15	Dolares 2007/kWh
154,325	Usd 2007 / GWh

Turbo Gas 1 x 85 (MW)	84.4
Costos Mantenimiento \$/MWH (pesos 2009)	163.06
Convirtiendo a dolares 2007	16.64198158

Eficiencia Turbo Gas	29.44%
Uso Combustible:	
Gas Natural	65%
Diesel	35%

BENEFICIOS

Sin Proyecto	Energia ahorrada GWh/ Annual (más perdidas)	Energia Evitada x Hora MW (más perdidas)	Turbo Gas Existente MW h/h	Precio Combustible USD 2007/GJ (Gas Natural)	USD 2007/GJ (Diesel)
2010	86.96	46	2,496	\$5.06	\$11.02
2011	170.91	90	2,334	\$6.38	\$14.92
2012	252.03	133	2,334	\$6.47	\$14.53
2013	330.47	174	2,742	\$6.59	\$14.13
2014	406.39	214	2,654	\$6.69	\$14.13
2015	479.94	253	2,476	\$6.89	\$14.32
2016	622.57	328	2,433	\$7.08	\$14.73
2017	753.87	397	2,538	\$7.49	\$15.13
2018	875.03	461	2,538	\$7.88	\$15.33
2019	987.10	520	2,538	\$8.47	\$15.93
2020	1091.03	575	2,538	\$8.77	\$16.12
2021	1236.02	651	2,538	\$8.80	\$16.43
2022	1364.01	719	2,538	\$8.82	\$16.75
2023	1477.64	779	2,538	\$8.85	\$17.08
2024	1579.12	832	2,538	\$8.87	\$17.41
2025	1670.35	880	2,538	\$8.90	\$17.71
2026	1752.95	924	2,538	\$8.99	\$17.91
2027	1828.29	963	2,538	\$9.10	\$18.11
2028	1897.54	1,000	2,538	\$9.19	\$18.30
2029	1961.69	1,034	2,538	\$9.28	\$18.50
2030	2021.59	1,065	2,538	\$9.39	\$18.70

Anexo 4.3 Sistemas Fotovoltaicos

Análisis Costo- Beneficio

Perdidas Transmision y Distribucion	11.34%
-------------------------------------	--------

Transmision Costos*:	\$0.052 \$(pesos2008)/kWh
Factor de Conversión Pesos 2008-Usd 2007	\$10.74 Dolares 2007/kWh
	4,794 Usd 2007 / GWh

*http://www.cre.gov.mx/articulo.aspx?id=185

Uso Combustible GJ	Costo Combustible	Oper. / Mtto. 5.2hr/dia	Transmision y Distribucion	Costo Subsidio 2007 USD/GWh + Aumento	Subsidios pagados	Total Millones Usd
1,064,278	\$7,607,332	\$1,447,217	\$416,871	\$154,325	-\$12,896,686	-\$3.4
2,091,733	\$19,596,198	\$2,844,361	\$819,318	\$158,955	-\$26,107,562	-\$2.8
3,084,456	\$28,662,113	\$4,194,278	\$1,208,162	\$163,724	-\$39,652,997	-\$5.6
4,044,443	\$37,326,353	\$5,499,678	\$1,584,182	\$168,635	-\$53,554,169	-\$9.1
4,973,588	\$46,214,344	\$6,763,141	\$1,948,122	\$173,694	-\$67,833,100	-\$12.9
5,873,700	\$55,751,952	\$7,987,122	\$2,300,690	\$178,905	-\$82,512,702	-\$16.5
7,619,294	\$74,363,279	\$10,360,801	\$2,984,428	\$184,272	-\$110,245,543	-\$22.5
9,226,257	\$93,765,866	\$12,545,967	\$3,613,865	\$189,800	-\$137,502,017	-\$27.6
10,709,005	\$112,291,245	\$14,562,223	\$4,194,648	\$195,494	-\$164,387,898	-\$33.3
12,080,520	\$133,844,982	\$16,427,225	\$4,731,861	\$201,359	-\$191,004,498	-\$36.0
13,352,497	\$151,446,061	\$18,156,874	\$5,230,087	\$207,400	-\$217,449,134	-\$42.6
15,126,955	\$173,497,296	\$20,569,801	\$5,925,130	\$213,622	-\$253,737,073	-\$53.7
16,693,415	\$193,539,620	\$22,699,891	\$6,538,702	\$220,031	-\$288,412,996	-\$65.6
18,083,973	\$212,085,309	\$24,590,787	\$7,083,375	\$226,632	-\$321,810,867	-\$78.1
19,325,923	\$229,241,009	\$26,279,605	\$7,569,839	\$233,431	-\$354,229,183	-\$91.1
20,442,481	\$245,017,719	\$27,797,913	\$8,007,187	\$240,434	-\$385,935,668	-\$105.1
21,453,393	\$259,874,773	\$29,172,562	\$8,403,155	\$247,647	-\$417,171,403	-\$119.7
22,375,459	\$274,108,227	\$30,426,397	\$8,764,322	\$255,076	-\$448,154,446	-\$134.9
23,222,972	\$287,524,621	\$31,578,855	\$9,096,287	\$262,728	-\$479,083,017	-\$150.9
24,008,097	\$300,312,186	\$32,646,476	\$9,403,816	\$270,610	-\$510,138,308	-\$167.8
24,741,189	\$312,870,291	\$33,643,343	\$9,690,963	\$278,728	-\$541,486,950	-\$185.3
				VPN	-\$1,337,055,444	-\$325

Beneficio Neto Millones	Periodo de Recuperación
-\$155	
-\$100	
-\$52	
-\$6	
\$38	
\$81	
\$63	
\$141	\$141
\$214	\$214
\$287	\$287
\$354	\$354
\$394	\$394
\$481	\$481
\$561	\$561
\$635	\$635
\$705	\$705
\$770	\$770
\$832	\$832
\$893	\$893
\$951	\$951
\$1,009	\$1,009
\$1,670	\$1,411
30.8%	2017

CO2 Mitigado	
Total	
Año	(Millones Tons) CO2
2010	0.04
2011	0.08
2012	0.12
2013	0.16
2014	0.19
2015	0.23
2016	0.29
2017	0.35
2018	0.41
2019	0.46
2020	0.51
2021	0.58
2022	0.64
2023	0.70
2024	0.74
2025	0.79
2026	0.82
2027	0.86
2028	0.89
2029	0.92
2030	0.95
Suma	10.75

Costo o Beneficio de Mitigación
 VPN del proyecto/ Toneladas de CO2 Evitadas
 \$155.34 Por Tonelada Evitada.

Anexo 4.4 Calentadores Solares de Agua

- Caso Unitario
- Potencial, Escenario Instalación Factible, Evaluación Ambiental
- Análisis Costo- Beneficio

Anexo 4.4 Calentadores Solares de Agua

Caso Unitario

Tipo de Sistema CSA	240 Litros
Costo Sistema	\$1,249.81 USD 2007
IVA	0% \$1,249.81 .+ IVA
Instalación	45%

Tasa de Descuento	3%
Costo de O&M (Valor del CSA)	0.55%

Consumo Medio (Litros/vivienda/diarios)	75 Litros x 4 Personas x día
	300 litros/diarios

Energía por ducha Individual	13,084 KJ
Habitantes x Vivienda	4
Consumo Total Vivienda / Annual	21.01 GJ

Costo Boiler	320 litros
Costo Sistema	\$105.83 usd 2007
IVA	0% \$105.83 usd 2007
Instalación	45%

Año ref.	Año	Equipo	Instalacion	Mito	Combustible	Costo Total
2009	0	\$1,249.81	\$562.42	0	0	\$1,812.23
2010	1	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2011	2	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2012	3	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2013	4	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2014	5	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2015	6	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2016	7	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2017	8	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2018	9	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2019	10	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2020	11	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2021	12	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2022	13	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2023	14	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2024	15	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2025	16	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2026	17	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2027	18	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2028	19	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2029	20	0	0	\$6.87	0	\$6.87
2030	21	0	0	\$6.87	0	\$6.87
				VPN		\$1,862.32

CSA vs Boiler Convencional Gas Natural

Año	Equipo	Instalacion	Mito	Precio GN	Combustible	Costo Total
0	\$105.83	\$47.62	0	0	0	-\$1,658.19
1	0	0	\$0.58	\$11.01	\$231.38	\$225.09
2	0	0	\$0.58	\$11.34	\$238.32	\$232.03
3	0	0	\$0.58	\$11.68	\$245.47	\$239.18
4	0	0	\$0.58	\$12.03	\$252.84	\$246.54
5	0	0	\$0.58	\$12.39	\$260.42	\$254.13
6	0	0	\$0.58	\$12.76	\$268.23	\$261.94
7	0	0	\$0.58	\$13.15	\$276.28	\$269.99
8	0	0	\$0.58	\$13.54	\$284.57	\$278.28
9	0	0	\$0.58	\$13.95	\$293.11	\$286.81
10	\$105.83	\$47.62	\$0.58	\$14.37	\$301.90	\$449.06
11	0	0	\$0.58	\$14.80	\$310.96	\$304.66
12	0	0	\$0.58	\$15.24	\$320.28	\$313.99
13	0	0	\$0.58	\$15.70	\$329.89	\$323.60
14	0	0	\$0.58	\$16.17	\$339.79	\$333.50
15	0	0	\$0.58	\$16.66	\$349.98	\$343.69
16	0	0	\$0.58	\$17.15	\$360.48	\$354.19
17	0	0	\$0.58	\$17.67	\$371.30	\$365.01
18	0	0	\$0.58	\$18.20	\$382.44	\$376.15
19	0	0	\$0.58	\$18.75	\$393.91	\$387.62
20	\$105.83	\$47.62	\$0.58	\$19.31	\$405.73	\$652.89
21	0	0	\$0.58	\$19.89	\$417.90	\$411.61
				VPN		\$3,069.36
				TIR		15.81%
				VPN Beneficios		\$4,819.63
				VPN Equipo		\$1,658.19
				Pagos anuales beneficios		\$312.66
				Periodo de recuperación		5.30

CSA vs Boiler Convencional Gas LP

Año	Equipo	Instalacion	Mito	Precio GLP	Combustible	Costo Total
0	\$105.83	\$47.62	0	0	0	-\$1,658.19
1	0	0	\$0.58	\$13.91	\$292.31	\$286.02
2	0	0	\$0.58	\$14.33	\$301.06	\$294.79
3	0	0	\$0.58	\$14.76	\$310.11	\$303.82
4	0	0	\$0.58	\$15.20	\$319.42	\$313.12
5	0	0	\$0.58	\$15.66	\$329.00	\$322.71
6	0	0	\$0.58	\$16.13	\$338.87	\$332.58
7	0	0	\$0.58	\$16.61	\$349.04	\$342.74
8	0	0	\$0.58	\$17.11	\$359.51	\$353.21
9	0	0	\$0.58	\$17.62	\$370.29	\$364.00
10	\$105.83	\$47.62	\$0.58	\$18.15	\$381.40	\$528.57
11	0	0	\$0.58	\$18.69	\$392.84	\$386.55
12	0	0	\$0.58	\$19.26	\$404.63	\$398.34
13	0	0	\$0.58	\$19.83	\$416.77	\$410.47
14	0	0	\$0.58	\$20.43	\$429.27	\$422.98
15	0	0	\$0.58	\$21.04	\$442.15	\$435.86
16	0	0	\$0.58	\$21.67	\$455.41	\$449.12
17	0	0	\$0.58	\$22.32	\$469.07	\$462.78
18	0	0	\$0.58	\$22.99	\$483.15	\$476.85
19	0	0	\$0.58	\$23.68	\$497.64	\$491.35
20	\$105.83	\$47.62	\$0.58	\$24.39	\$512.57	\$659.74
21	0	0	\$0.58	\$25.12	\$527.95	\$521.66
				VPN		\$5,959.75
				TIR		20%
				VPN Beneficios		\$6,061.91
				VPN Equipo		\$1,658.19
				Pagos anuales beneficios		\$393.25
				Periodo de recuperación		4.22

Anexo 4.4 Calentadores Solares de Agua

Potencial, Escenario Instalación Factible, Evaluación Ambiental

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Viviendas de la República Mexicana (CONAPO 2007)	27 513 560	28 116 121	28 719 609	29 323 117	29 924 935	30 524 243	31 121 301	31 715 951	32 306 497	32 891 810	33 473 802	34 054 400	34 626 930	35 184 503	35 728 098	36 262 053	36 790 908	37 307 082	37 802 736	38 279 632	38 741 592	39 193 231

Viviendas Existentes

Potencial

Casas con Boiler de gas en Mexico (INEGI 2005)	11,000,000
Porcentaje de viviendas con condiciones económicas para adquirir CSA (CONAE 2007)	30%
Viviendas con potencial de adquirir CSA	3,300,000
Aumento del PIB per capita	1.66%

Potencial con aumento del PIB per capita	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Metros Cuadrados por vivienda	4																						
Acumulado CSA en m ²	13,200,000	13,419,120	13,641,877	13,868,333	14,088,547	14,332,583	14,570,504	14,812,374	15,058,259	15,308,227	15,562,343	15,820,678	16,083,301	16,350,284	16,621,690	16,897,619	17,178,119	17,463,276	17,753,167	18,047,869	18,347,464		
A petaloules (CONAE 2007)	250																						
1 m ² =	0.00000306																						
Petaloules	40.39	41.05	41.74	42.44	43.14	43.86	44.59	45.33	46.08	46.84	47.62	48.41	49.21	50.03	50.86	51.71	52.57	53.44	54.32	55.23	56.14		
A MWh	9.240	9.393	9.549	9.708	9.869	10.033	10.199	10.369	10.541	10.716	10.894	11.074	11.258	11.445	11.635	11.828	12.025	12.224	12.427	12.634	12.843		
Potencial total de CSA en viviendas existentes en el periodo del estudio	4,586,866																						

Instalación en Viviendas Existentes

2010-2012	5%
2013-2020	15%
2021-2030	30%
Potencial (menos) Instalación	

Potencial (menos) Instalación	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Instalación de CSA en Viviendas Existentes	165,000	159,489	154,162	147,039	138,404	135,724	290,939	252,128	218,494	189,347	164,088	284,397	203,799	146,042	104,654	74,965	53,741	38,511	27,597	19,776	14,172		
Acumulado CSA en Viviendas Existentes	165,000	324,489	478,651	625,690	1,313,094	1,648,819	1,939,758	2,191,885	2,410,379	2,599,726	2,763,813	3,048,210	3,252,009	3,398,052	3,502,706	3,577,701	3,631,442	3,669,953	3,697,550	3,717,326	3,731,498		
Metros Cuadrados por vivienda	4																						
Acumulado CSA en m ²	660,000	1,297,956	1,914,604	3,702,761	5,252,377	6,595,275	7,759,030	8,767,541	9,641,516	10,398,902	11,055,254	12,192,842	13,008,037	13,592,206	14,010,822	14,310,802	14,525,768	14,679,812	14,790,200	14,869,304	14,925,990		
A petaloules (CONAE 2007)	850																						
1 m ² =	0.00000306																						
Petaloules	2.02	3.97	5.86	11.33	16.07	20.18	23.74	26.83	29.50	31.82	33.83	37.31	39.80	41.59	42.87	43.79	44.45	44.92	45.26	45.50	45.67		

Anexo 4.4 Calentadores Solares de Agua

Potencial, Escenario Instalación Factible, Evaluación Ambiental

Viviendas Nuevas	
Potencial	
Viviendas Nuevas (CONAPO 2007)	
Vivienda nueva es unifamiliar (CONAE 2007)	65%
Viviendas con posibilidades económicas (CONAE 2007)	30%
Aumento del PIB per cápita	1.66%
Acumulado CSA en Viviendas Existentes	
Metros Cuadrados por vivienda	4
Acumulado CSA en m ²	850
A perforados (CONAE 2007)	0.00000306
Petalosules	PJ
Petalosules Acumulado	
A.MWh	0.0007
Potencial total de CSA en viviendas existentes en el periodo del estudio	2,313,392

KWh/año m² de captador solar.

MWh/m²

Instalación en Viviendas Nuevas	
% del potencial que se instala anualmente	
Instalación de CSA en Viviendas Nuevas	
Acumulado CSA en Viviendas Nuevas	
Metros Cuadrados por vivienda	4
Acumulado CSA en m ²	850
A perforados (CONAE 2007)	0.00000306
Petalosules	PJ

m²

KWh/año m² de captador solar.

Resultados	
Potencial total (PJ)	
Viviendas Totales con CSA	
Viviendas Totales con CSA (acumulado)	
Porcentaje del total de las viviendas en México	
m ² de CSA instalados (acumulados)	
Total PJ	

Millones de Toneladas evitadas de CO ₂ anualmente	250
Millones de Toneladas evitadas de CO ₂ anualmente	Kgs/m ² de CSA
Millones de Toneladas Acumuladas evitadas de CO ₂ anualmente	

602 561	603 488	603 508	601 818	599 308	597 058	594 650	590 546	585 313	581 992	580 598	572 530	567 573	543 595	533 957	528 853	516 174	495 654	476 896	461 960	451 639
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

117,499	117,680	117,684	117,355	116,865	116,426	115,957	115,156	114,136	113,488	113,217	111,643	108,727	106,001	104,122	103,126	100,654	96,653	92,995	90,082	88,070
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------	--------	--------	--------

117,499	119,634	119,638	119,303	118,805	118,359	117,882	117,068	116,031	115,372	115,096	113,497	110,532	107,761	105,850	104,838	102,325	98,257	94,538	91,578	89,532
117,499	237,133	356,771	476,073	594,878	713,237	831,119	948,187	1,064,218	1,179,590	1,294,686	1,408,183	1,518,714	1,626,475	1,732,325	1,837,163	1,939,488	2,037,745	2,132,283	2,223,861	2,313,392

469,998	948,532	1,427,083	1,904,293	2,379,513	2,852,948	3,324,476	3,792,748	4,256,871	4,718,380	5,178,741	5,632,731	6,074,857	6,506,900	6,929,300	7,348,653	7,757,852	8,150,980	8,529,133	8,895,444	9,253,570
---------	---------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

1.44	2.90	4.37	5.83	7.28	8.73	10.17	11.61	13.03	14.44	15.85	17.24	18.59	19.91	21.20	22.49	23.74	24.94	26.10	27.22	28.32
------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

329	664	999	1,333	1,666	1,997	2,327	2,655	2,980	3,303	3,625	3,943	4,252	4,554	4,851	5,144	5,431	5,706	5,970	6,227	6,477
-----	-----	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

11,750	23,927	35,891	47,721	59,403	71,015	82,517	93,654	104,428	115,372	115,096	113,497	110,532	107,761	105,850	104,838	102,325	98,257	94,538	91,578	89,532
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------	--------	--------	--------

11,750	35,677	71,568	119,289	178,692	249,707	332,224	425,878	530,306	645,678	760,774	874,271	984,803	1,092,563	1,198,413	1,303,252	1,405,576	1,503,833	1,598,372	1,689,949	1,779,481
--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

47,000	142,707	286,272	477,156	714,766	998,828	1,328,896	1,703,514	2,121,224	2,582,714	3,043,098	3,497,084	3,939,211	4,370,253	4,793,653	5,213,006	5,622,306	6,015,333	6,393,487	6,759,797	7,117,924
--------	---------	---------	---------	---------	---------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

0.14	0.44	0.88	1.46	2.19	3.06	4.07	5.21	6.49	7.90	9.31	10.70	12.05	13.37	14.67	15.95	17.20	18.41	19.56	20.68	21.78
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

41.83	43.97	46.11	48.26	50.42	52.59	54.76	56.93	59.10	61.28	63.47	65.65	67.80	69.94	72.07	74.19	76.30	78.38	80.42	82.45	84.46
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

176,750	183,416	190,053	494,760	446,807	406,740	373,456	345,782	322,921	304,719	279,184	397,894	314,331	253,803	210,504	179,833	156,066	136,768	122,135	111,354	103,703
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

176,750	360,166	550,219	1,044,979	1,491,786	1,898,526	2,271,982	2,617,764	2,940,685	3,245,404	3,524,588	3,922,481	4,236,812	4,490,615	4,701,110	4,880,952	5,037,018	5,173,786	5,295,022	5,407,275	5,510,979
---------	---------	---------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

0.63%	1.25%	1.88%	3.49%	4.89%	6.10%	7.16%	8.10%	8.94%	9.70%	10.35%	11.33%	12.04%	12.57%	12.96%	13.27%	13.50%	13.69%	13.83%	13.96%	14.06%
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

707,000	1,440,663	2,200,876	4,179,917	5,967,143	7,594,103	9,087,926	10,471,055	11,762,740	12,981,616	14,098,351	15,689,926	16,947,248	17,962,460	18,804,476	19,523,808	20,148,073	20,695,145	21,183,687	21,629,102	22,043,914
---------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

2.16	4.41	6.73	12.79	18.26	23.24	27.81	32.04	35.99	39.72	43.14	48.01	51.86	54.97	57.54	59.74	61.65	63.33	64.82	66.19	67.45
------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

0.18	0.36	0.55	1.04	1.49	1.90	2.27	2.62	2.94	3.25	3.52	3.92	4.24	4.49	4.70	4.88	5.04	5.17	5.30	5.41	5.51
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

0.18	0.54	1.09	2.13	3.62	5.52	7.79	10.41	13.35	16.60	20.12	24.05	28.28	32.77	37.47	42.35	47.39	52.57	57.86	63.27	68.78
------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Anexo 4.4 Calentadores Solares de Agua

Análisis Costo- Beneficio

Precios	USD 2007
Equipo	\$1,249.81
Instalacion	\$562.42
Mtto	\$6.87
Combustible	\$0.00
Tasa Descuento	10%

Costo Boiler	320 litros
Costo Sistema	\$105.83 usd 2007
IVA	0% \$105.83 usd 2007
Instalación	45%
Op&Mtto.	1%

CON PROYECTO CSA

Año	Año	Viviendas	Energía Ahorrada (PJ)	Costos de Inversión.		Costos de Operación.		Total Millones
				Costos Del Equipo	Instalacion	Op&Mtto.	Comb.	
2010	1	176,750	2.16	\$220,904,627	\$99,407,082	\$1,214,975	\$0	\$322
2011	2	183,416	4.41	\$229,235,628	\$103,156,033	\$1,260,796	\$0	\$334
2012	3	190,053	6.73	\$237,531,424	\$106,889,141	\$1,306,423	\$0	\$346
2013	4	494,760	12.79	\$618,358,444	\$278,261,300	\$3,400,971	\$0	\$900
2014	5	446,807	18.26	\$558,425,401	\$251,291,431	\$3,071,340	\$0	\$813
2015	6	406,740	23.24	\$508,349,299	\$228,757,184	\$2,795,921	\$0	\$740
2016	7	373,456	27.81	\$466,750,615	\$210,037,777	\$2,567,128	\$0	\$679
2017	8	345,782	32.04	\$432,163,346	\$194,473,506	\$2,376,898	\$0	\$629
2018	9	322,921	35.99	\$403,591,781	\$181,616,302	\$2,219,755	\$0	\$587
2019	10	304,719	39.72	\$380,842,233	\$171,379,005	\$2,094,632	\$0	\$554
2020	11	279,184	43.14	\$348,927,986	\$157,017,594	\$1,919,104	\$0	\$508
2021	12	397,894	48.01	\$497,293,231	\$223,781,954	\$2,735,113	\$0	\$724
2022	13	314,331	51.86	\$392,854,804	\$176,784,662	\$2,160,701	\$0	\$572
2023	14	253,803	54.97	\$317,206,577	\$142,742,960	\$1,744,636	\$0	\$462
2024	15	210,504	57.54	\$263,090,868	\$118,390,891	\$1,447,000	\$0	\$383
2025	16	179,833	59.74	\$224,758,160	\$101,141,172	\$1,236,170	\$0	\$327
2026	17	156,066	61.65	\$195,053,785	\$87,774,203	\$1,072,796	\$0	\$284
2027	18	136,768	63.33	\$170,934,693	\$76,920,612	\$940,141	\$0	\$249
2028	19	122,135	64.82	\$152,646,690	\$68,691,011	\$839,557	\$0	\$222
2029	20	111,354	66.19	\$139,171,351	\$62,627,108	\$765,442	\$0	\$203
2030	21	103,703	67.45	\$129,609,601	\$58,324,320	\$712,853	\$0	\$189
VPN								4,521

SIN PROYECTO GAS LP

Año	Viviendas	Uso de GLP	Viviendas	Costo GLP	Reemplazo	Costo Equipo	Instalación	Mtto.	Combustible	Total
2010	176750	88.90%	157,131	\$13.91	0	\$16,629,575	\$7,483,309	\$91,463	\$26,754,061	\$51
2011	183416	88.90%	163,057	\$14.33	0	\$17,256,728	\$7,765,528	\$94,912	\$56,152,614	\$81
2012	190053	88.10%	167,437	\$14.76	0	\$17,720,320	\$7,974,144	\$97,462	\$87,561,790	\$113
2013	494760	87.50%	432,915	\$15.20	0	\$45,816,608	\$20,617,474	\$251,991	\$170,120,268	\$237
2014	446807	86.80%	387,828	\$15.66	0	\$41,044,926	\$18,470,217	\$225,747	\$248,144,006	\$308
2015	406740	86.20%	350,610	\$16.13	0	\$37,105,995	\$16,697,698	\$204,083	\$323,026,791	\$377
2016	373456	85.60%	319,678	\$16.61	0	\$33,832,434	\$15,224,595	\$186,078	\$395,394,480	\$445
2017	345782	85.10%	294,260	\$17.11	0	\$31,142,400	\$14,014,080	\$171,283	\$466,497,410	\$512
2018	322921	84.60%	273,191	\$17.62	0	\$28,912,607	\$13,010,673	\$159,019	\$536,593,417	\$579
2019	304719	84.20%	256,573	\$18.15	0	\$27,153,873	\$12,219,243	\$149,346	\$607,078,088	\$647
2020	279184	83.80%	233,956	\$18.69	1	\$41,389,790	\$11,142,097	\$136,181	\$675,854,609	\$729
2021	397894	83.50%	332,241	\$19.26	1	\$52,418,731	\$23,306,210	\$284,854	\$771,943,520	\$848
2022	314331	83.20%	261,523	\$19.83	1	\$45,398,019	\$20,220,492	\$247,139	\$855,732,234	\$922
2023	253803	82.90%	210,403	\$20.43	1	\$68,084,099	\$17,994,515	\$219,933	\$930,835,512	\$1,017
2024	210504	82.70%	174,087	\$21.04	1	\$59,469,008	\$28,908,311	\$353,324	\$1,001,282,358	\$1,090
2025	179833	82.60%	148,542	\$21.67	1	\$52,826,630	\$25,544,502	\$312,211	\$1,069,477,467	\$1,148
2026	156066	82.40%	128,599	\$22.32	1	\$47,442,373	\$22,822,170	\$278,938	\$1,134,031,220	\$1,205
2027	136768	81.88%	111,989	\$22.99	1	\$42,994,505	\$20,558,043	\$251,265	\$1,192,231,747	\$1,256
2028	122135	81.35%	99,357	\$23.68	1	\$39,427,808	\$18,745,920	\$229,117	\$1,248,808,553	\$1,307
2029	111354	80.80%	89,975	\$24.39	1	\$36,676,177	\$17,295,710	\$211,392	\$1,304,463,890	\$1,359
2030	103703	80.24%	83,208	\$25.12	1	\$50,195,900	\$16,181,992	\$197,780	\$1,359,797,550	\$1,426
VPN										4,370

Anexo 4.4 Calentadores Solares de Agua
Análisis Costo- Beneficio

Datos		
m2 de CSA / Vivienda	4	m2
CO2 equivalente m2	250	Kg

CO2 Mitigado

SIN PROYECTO GAS NATURAL					Costos de Inversión		Costos de Operación		Total	Total Proyecto	
Año	Uso de Gas	Viviendas	Costo GLP	Remp.	Equipo	Instalación	Mtto.	Usado GJ/Anual	Millones	Total Millones Neto	Total Proyecto
	%de Viviendas	Con GasN	Usd/GJ							Gas LP y Gas Natural	CSA vs GLP y GN
2010	11.10%	19,619	\$11.01	0	\$2,076,359	\$934,361	\$11,420	2,644,187	\$6	\$57	-\$265
2011	11.10%	20,359	\$11.34	0	\$2,154,665	\$969,599	\$11,851	5,549,738	\$9	\$90	-\$244
2012	11.90%	22,616	\$11.68	0	\$2,393,551	\$1,077,098	\$13,165	9,361,964	\$13	\$126	-\$220
2013	12.50%	61,845	\$12.03	0	\$6,545,230	\$2,945,353	\$35,999	19,237,086	\$29	\$266	-\$634
2014	13.20%	58,978	\$12.39	0	\$6,241,855	\$2,808,835	\$34,330	29,870,278	\$39	\$347	-\$466
2015	13.80%	56,130	\$12.76	0	\$5,940,403	\$2,673,181	\$32,672	40,934,701	\$50	\$427	-\$313
2016	14.40%	53,778	\$13.15	0	\$5,691,438	\$2,561,147	\$31,303	52,650,269	\$61	\$506	-\$174
2017	14.90%	51,522	\$13.54	0	\$5,452,665	\$2,453,699	\$29,990	64,652,781	\$73	\$584	-\$45
2018	15.40%	49,730	\$13.95	0	\$5,263,051	\$2,368,373	\$28,947	77,317,350	\$85	\$664	\$76
2019	15.80%	48,146	\$14.37	0	\$5,095,382	\$2,292,922	\$28,025	90,171,816	\$98	\$744	\$190
2020	16.20%	45,228	\$14.80	1	\$6,862,940	\$3,088,323	\$37,746	103,420,240	\$113	\$842	\$334
2021	16.50%	65,652	\$15.24	1	\$9,102,845	\$4,096,280	\$50,066	120,743,638	\$134	\$982	\$258
2022	16.80%	52,808	\$15.70	1	\$7,982,317	\$3,592,043	\$43,903	136,774,492	\$148	\$1,070	\$498
2023	17.10%	43,400	\$16.17	1	\$11,138,403	\$5,012,282	\$61,261	151,983,271	\$168	\$1,185	\$724
2024	17.30%	36,417	\$16.66	1	\$10,095,986	\$4,543,194	\$55,528	165,797,669	\$180	\$1,271	\$888
2025	17.40%	31,291	\$17.15	1	\$9,252,014	\$4,163,406	\$50,886	178,329,053	\$192	\$1,340	\$1,013
2026	17.60%	27,468	\$17.67	1	\$8,598,415	\$3,869,287	\$47,291	191,730,732	\$204	\$1,409	\$1,125
2027	18.12%	24,779	\$18.20	1	\$8,075,100	\$3,633,795	\$44,413	208,810,012	\$221	\$1,477	\$1,228
2028	18.65%	22,779	\$18.75	1	\$7,673,786	\$3,453,204	\$42,206	226,625,628	\$238	\$1,545	\$1,323
2029	19.20%	21,379	\$19.31	1	\$7,357,938	\$3,311,072	\$40,469	245,341,250	\$256	\$1,615	\$1,412
2030	19.76%	20,495	\$19.89	1	\$9,032,012	\$4,064,405	\$49,676	265,121,791	\$278	\$1,705	\$1,516
VPN									682	5,052	530
TIR									12.55%		

	Mitigación	Total	Acumulado
		Tons. de CO2	Tons. de CO2
Año	Viviendas	Millones	Millones
2010	176,749,940	0.18	0.18
2011	183,415,730	0.18	0.36
2012	190,053,352	0.19	0.55
2013	494,760,201	0.49	1.04
2014	446,806,649	0.45	1.49
2015	406,739,819	0.41	1.90
2016	373,455,931	0.37	2.27
2017	345,782,008	0.35	2.62
2018	322,921,362	0.32	2.94
2019	304,719,022	0.30	3.25
2020	279,183,833	0.28	3.52
2021	397,893,652	0.40	3.92
2022	314,330,505	0.31	4.24
2023	253,802,938	0.25	4.49
2024	210,503,943	0.21	4.70
2025	179,833,224	0.18	4.88
2026	156,066,196	0.16	5.04
2027	136,768,057	0.14	5.17
2028	122,135,483	0.12	5.30
2029	111,353,611	0.11	5.41
2030	103,703,075	0.10	5.51
	Suma		68.78
Costo de Mitigación			
VPN del proyecto/ Toneladas de CO2 Evitadas			
\$7.71	Por Tonelada Evitada.		

BIBLIOGRAFÍA

- i IEA, 2009a, KeyWorld Energy Statistics 2009, International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
- ii IEA, 2009b, World Energy Outlook 2009, International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
- iii WorldBank, 2010. <http://www.worldbank.org/depweb/spanish/modules/social/pgpr/index.html>, consultado Julio 2010.
- iv SENER, 2008, Balance Nacional de Energía 2008, México, Secretaría de Energía.
- v BBC 2010, <http://www.bbc.co.uk/news/10194335>, consultado Julio 2010
- vi IPCC 2010, http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.htm, consultado Julio 2010
- vii IEA-PVPS 2008, Trends In Photovoltaics Applications, Survey report of selected IEA countries between 1992- 2008, International Energy Agency, 2008, Report IEA-PVPS T1-18:2009
- viii IEA-SHC 2009, *Solar Heat Worldwide, markets and contribution to the energy supply 2007*, http://www.ieashc.org/publications/statistics/IEA-SHC_Solar_Heat_Worldwide-2009.pdf
- ix Kalogirou, S., 2004. Solar thermal collectors and applications. Prog. Energ. Combust. Sci. 30 (3), 231–295.
- x Nitsch, F. (2007): Technologische und energiewirtschaftliche Perspektiven erneuerbarer Energien. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
- xi Key World Energy Statistics 2009, IEA 2009
- xii Survey of Energy Resources (2007). World Energy Council. Consultado Mayo 2010
- xiii Solar Energy can bring clean energy to over 4 billion people by 2030. Greenpeace (2008) <http://www.greenpeace.org/international/press/releases/solar-energy-clean-energy/> consultado Mayo 2010
- xiv Bradford, Travis, Solar Revolution : the Economic Transformation of the Global Energy Industry, 2006, ISBN 978-0-262- 02604-8
- xv Neville. Richard C. 1995 “Solar Energy Conversion”, ELSEVIER ,ISBN-10: 0-444-89818-2
- xvi Kalogirou, Soteris, Solar energy engineering : processes and systems, 1st ed, ISBN 978-0-12-374501-9
- xvii IEA (2003), “Renewable Energy into the Mainstream”, Rodney Janssen, International Energy Agency’s Renewable Energy Working Party, The Netherlands
- xviii Martin Kaltschmitt et al 2007 Renewable Energy Technology , Economics and Environment pag 23-48
- xix John A. Duffie yWilliam A. Beckman. Solar Engineering of thermal processes. Wiley, 3 era edición, 2006. ISBN 0471698679
- xx Silicon: the essentials". WebElements Ltd, <http://www.webelements.com/silicon/>, Consultado Junio 2010
- xxi Green, Martin, 2002, “Energía fotovoltaica. De la luz solar a la electricidad usando células solares”, Ed. Acribia
- xxii Green Car Congress: UD-Led Team Sets Solar Cell Efficiency Record of 42.8%; Joins DuPont on \$100M Project , Julio 2008, [<http://www.greencarcongress.com/2007/07/ud-led-team-set.html>]
- xxiii Asociación de la Industria Fotovoltaica, 2010, PREJUICIOS (P) Y MITOS (M) SOBRE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, M-13648-2010. www.asif.org
- xxiv García, Jorge, Quintana Rafael, Perdomo Lorenzo, Rodríguez Vladimir, 2010, Actualidad, Perspectivas del Desarrollo de la Obtención de Silicio Grado Solar y Criterios Económicos y Estratégicos en el Mercado Fotovoltaico. CIS. UCLV. Cuba
- xxv Compared assessment of selected environmental indicators of photovoltaic electricity in OECD cities (2006), International Energy Agency
- xxvi Raugei Marco, Frankl Paolo, Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems: Current state of the art and future outlooks, Energy 34 (2009) 392–399
- xxvii DOE 2008 Perspectives on U.S.Solar Market Trajectory , Department of Energy USA.
- xxviii HoffmannW. AVisionforPVTechnologyupto2030andBeyond.Presentedat the EuropeanCommission/PVTechnologyResearchAdvisoryCouncil(PVTRAC) conference‘FutureVisionforPV’,Brussels,28September2004.See also: /http://ec.europa.eu/research/energy/photovoltaics/programme_en.html, 2004.
- xxix Pilatowsky Isaac, Martínez Rodolfo, Sistemas de calentamiento solar de agua: una guía para el consumidor, México, 2009, Trillas, ISBN 978-607-17-0002-5
- xxx PROCALSOL 2007, PROGRAMA PARA PROMOVER LOS CALENTADORES SOLARES (PROCALSOL), Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía, México.
- xxxi Kalogirou Soteris 2008, Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters Solar Energy 83 (2009) 39–48
- xxxii Various,2000. Karapanagiotis N. (Ed.),Environmental impacts from the use of solar energy technologies. THERMIE
- xxxiii Tsoutsos Theocharis, Niki Frantzeskaki, Vassilis Gekas (2005), Environmental impacts from the solar energy technologies, Energy Policy 33 (2005) 289–296

- xxxiv Kalogirou Soteris A., 2004, Environmental benefits of domestic solar energy systems *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 3075–3092
- xxxv Varun, Ravi Prakash, Inder Krishnan Bhat, 2009, Energy, economics and environmental impacts of renewable energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 2716–2721
- xxxvi World Energy Council “Survey of Energy Resources 2007”
- xxxvii Solar Energy can bring clean energy to over 4 billion people by 2030, Greenpeace 2008
- xxxviii IEA World Economic Outlook 2009 OECD/IEA
- xxxix http://www.iea-shc.org/publications/statistics/IEA-SHC_Solar_Heat_Worldwide-2009.pdf
- xl Han Jingyi , Arthur P.J. Mol, Yonglong Lu, 2009 , Solar water heaters in China: A new day dawning, *Energy Policy* 38 (2010) 383–391
- xli <http://www.epa.gov/climatechange/glossary.html> Consultado Mayo 2010
- xlii <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/glogen/default.aspx?dg=s&s=est&c=11611> , Consultado Junio 2009
- xliii CONAPO (2008) “Proyecciones de los hogares y las viviendas de las entidades federativas 2005-2050”, México
- xliiv INEGI-ENIGH (2008) Ingresos y Gastos de los Hogares del Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- xliiv SENER (2009a), *Prospectiva del mercado de Gas LP 2009-2024*, Secretaría de Energía, 2009
- xlivi SENER (2009b) *Prospectiva del mercado de Gas Natural 2009-2024*, Secretaría de Energía, 2009
- xliiv SENER (2009c), *Prospectiva del sector eléctrico 2009-2024*, Secretaría de Energía, 2009
- xliiii SENER (2005), *Prospectiva sobre la utilización de las energías renovables en México. Una visión al año 2030*.
- xlix IIE (2010), *EL PRONALSOL*, http://genc.iie.org.mx/genc/7_articulo.htm, consultado Julio 2010
- l SEMARNAT (2006) , *Vecindario Fotovoltaico Valle las misiones*, www.semarnat.gob.mx
- li CONUUE (2009) *Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos, en conexión a la red eléctrica en México*.
- lii Ortega (2009) Molina Ana Liliana, *Ahorro de energía eléctrica en viviendas de interés medio, uso de sistemas fotovoltaicos en la ciudad de México* , 2009. Tesis para obtener grado de maestría, Facultad de Arquitectura UNAM.
- liii CONUUE (2007), *Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (Procalsol)*, http://www.conae.gob.mx/wb/procalsol/que_es_procalsol
- liiv PROCALSOL (2009) *Avances 2007-2009 y plan operativo 2009-2010*. www.conae.gob.mx
- lv <http://www.mexicohazalgo.org.mx/2009/08/infonavit-y-conavi-ganan-premio-internacional-por-financiar-viviendaverde/> Consultado Mayo del 2010
- lvi INFONAVIT (2010) (<http://portal.infonavit.org.mx>) consultado Mayo 2010
- lvii <http://www.mexicohazalgo.org.mx/2010/04/infonavit-busca-que-todas-las-hipotecas-que-otorga-sean-paravivienda-verde/> Consultado Mayo del 2010
- lviii Flores Salgado Yolanda Lourdes, *Propuesta metodológica para el análisis, técnico y económico del uso de calentadores solares de agua*, 2009, Tesis para obtener grado de maestría, Facultad de Ingeniería UNAM.
- lix Jones, Charles O., 1970, *An Introduction to the Study of Public Policy*, Belmont, Calif. Wadsworth Pub.
- lx Larrue, Corinne, *Analyser les politiques publiques d’environnement*, L’Harmattan, París, 2000.
- lxi cgpp.app.jalisco.gob.mx/images/ppapuntes.pdf, consultado Mayo 2010.
- lxii ENTE, (2009) (Energía, Tecnología y Educación, S.C.) *Fondos públicos para programas de ahorro de energía y aprovechamiento de energías renovables*, Junio 2009, www.funtener.org/pdfs/reporte ESPECIAL8.pdf consultado Mayo 2010.
- lxiii ANES (2009) http://www.anes.org/anes/formularios/Publicaciones/Normas/energia_solar_julio_2009.pdf, Consultado Mayo 2010.
- lxiv http://www.conocer.gob.mx/Desarrollo/Buscadores_Avanzados/pdf/NUSIM005.01.pdf Consultado Mayo 2010.
- lxv ONNCE (2008) (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6534/3/Alcance_DITfeb08.pdf, consultado Mayo 2010.
- lxvi Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-008-AMBT-2005 <http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/nadf-008-ambt-2005.pdf> consultado Mayo 2010
- lxvii SENER (2009d), *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México*. México.
- lxviii CFE (2008) http://201.144.12.130/normas/qbe_normas.asp, consultado Mayo 2010
- lxix RESOLUCION No. RES/176/2007, CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA SOLAR EN PEQUEÑA ESCALA.
- lxx SENER (2009e) *La Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*
- lxxi EPA (2009), *renewable energy and social barriers*, *Clean Energy*, <http://www.epa.gov/cleanenergy/index.html>
- lxxii TECH4CDM (2010), *La Energía Solar Térmica en México*, <http://www.tech4cdm.com/>

- lxxiii Walker Gordon, What are the barriers and incentives for community-owned means of energy production and use?, *Energy Policy* 36 (2008) 4401–4405
- lxxiv Pilatowsky Figueroa, Isaac, 2009, *Sistemas de Calentamiento Solar de agua, guía del consumidor*, ed. Trillas.
- lxxv INFONAVIT (2007) -Guía metodológica para el uso de tecnologías ahorradoras de energía y agua en las viviendas de interés social en México 2007
- lxxvi INFONAVIT (2010) Manual Explicativo Vivienda Ecológica- Abril 2010
- lxxvii CONAE (2006) y GTZ, *Alternativas Financieras para la Promoción del Uso de Calentadores Solares de Agua (CSA) en el Sector Doméstico Mexicano*, realizado por Econergy México, SA de CV.
- lxxviii Ramírez Ramos Everardo Lenin, *Los colectores solares en México*, 2009, Tesis para obtener grado de licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM
- lxxix CFE (2005) Informe de Operaciones 2005 ,Comisión Federal de Electricidad, México.
- lxxx CRE (2008), *Matrices de cargos por servicios de transmisión y subtransmisión*, Comisión Reguladora de Energía, México.
- lxxxi CFE (2009) Informe de Labores CFE 2009 , Pérdidas TÉCNICAS reportadas en Agosto 2009.
- lxxxii SIG (2008), *Segundo Informe de Gobierno, Anexo Estadístico* , Poder Ejecutivo México.
- lxxxiii TÜV SÜD Industrie Service GMBH, 2009, "Factory energy efficiency improvement in compressed air demand in Mexico", methodology of the Association of Technicians and Professionals in Energy Applications (ATPAE in Spanish) and in the Consolidated Methodology Adopted by the Executive Board of Clean Development Mechanism "ACM0002. [SEMARNAT-CCE-CESPEDES-WRI-WBCSD, 2010].