



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD ECONÓMICA DE  
PRODUCIR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR  
RESIDENCIAL Y COMERCIAL POR MEDIO DE  
PANELES SOLARES Y AEROGENERADORES EN  
MÉXICO**

**TESIS**

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA**

**ENERGÍA – PROCESOS Y USO EFICIENTE**

PRESENTA:

**QUEZADA GARCÍA SERGIO**

TUTOR:

**SÁNCHEZ CIFUENTES AUGUSTO**



2011

## **JURADO ASIGNADO**

Presidente: Dr. Ambriz García Juan José

Secretario: Ing. Augusto Sánchez Cifuentes

Vocal: Dr. Reinking Cejudo Arturo Guillermo

1<sup>ER</sup> Suplente: Dr. León de los Santos Gabriel

2<sup>DO</sup> Suplente: M. I. Villanueva Moreno Carlos

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

TUTOR DE TESIS

**AUGUSTO SÁNCHEZ CIFUENTES**

---

FIRMA

# Resumen

---

El aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático, se debe principalmente al uso de combustibles de origen fósil, los cuales se agotan día a día, por lo tanto es importante producir energía limpia a base de fuentes renovables como el viento y el Sol.

En el presente trabajo se analiza la rentabilidad económica que se tiene, en México en los sectores residencial y comercial, al producir energía eléctrica con fuentes limpias de energía bajo diferentes condiciones como el nivel de irradiación solar, velocidad del viento, consumo de energía eléctrica en el inmueble, precio de la electricidad, precio del equipo requerido para producir energía solar y eólica. Mediante el empleo del software HOMER se evalúa la cantidad de energía limpia que se puede producir en un determinado inmueble para obtener la mayor rentabilidad económica.

El resultado muestra que en general es rentable económicamente el empleo de fuentes limpias de energía bajo diferentes condiciones como suprimir el uso de baterías, que elevan demasiado la inversión inicial, por lo tanto es necesario permanecer con una conexión a la red eléctrica.

Producir energía eléctrica con fuentes limpias de energía es rentable económicamente en la mayor parte del territorio mexicano y genera beneficios ambientales ya que se reduce la emisión de gases de efecto invernadero.

## **Abstract:**

The increased concentration of greenhouse gases that cause climate change is mainly due to the use of fossil fuels, which are depleting day by day, hence, it is important to produce clean power sources based renewables such as wind and sun. In the present paper examines the profitability that Mexico has in the residential and commercial sectors, producing electricity from clean sources of energy under different conditions: the level of solar radiation, wind speed, electricity consumption the property, the price of electricity, price of equipment required to produce solar and wind energy. By using HOMER software evaluates the amount of clean energy that can occur in a particular property to get the most value for money. The result shows that in general is economically viable use of clean energy sources under different conditions such as eliminating the use of batteries that rise too high initial investment; therefore it is necessary to stay with a connection to the grid. Producing electricity from clean sources of energy is economically viable in most of Mexico's territory and generates environmental benefits because it reduces the emission of greenhouse gases.

# Contenido

---

<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>CONTENIDO .....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>OBJETIVO .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1. CAMBIO CLIMÁTICO .....</b>	<b>8</b>
1.1 CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	10
1.2 CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	12
1.3 MITIGACIÓN .....	14
1.3.1 <i>Adaptación y desarrollo sostenible</i> .....	16
1.3.2 <i>Importancia de la tecnología</i> .....	17
<b>CAPÍTULO 2. ENERGÍAS RENOVABLES .....</b>	<b>18</b>
2.1 ENERGÍA EÓLICA .....	19
2.1.1 <i>Tecnologías</i> .....	20
2.1.2 <i>Estimación del recurso</i> .....	21
2.1.3 <i>Capacidad instalada en México</i> .....	21
2.1.4 <i>Potencial eólico</i> .....	22
2.1.5 <i>Ventajas y desventajas</i> .....	22
2.1.6 <i>Costos</i> .....	23
2.2 ENERGÍA SOLAR .....	24
2.2.1 <i>Tecnologías</i> .....	24
2.2.2 <i>Capacidad instalada en México</i> .....	24
2.2.3 <i>Potencial solar</i> .....	25
2.2.4 <i>Ventajas y desventajas</i> .....	25
2.2.5 <i>Costos</i> .....	26
2.3 LOS BENEFICIOS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES .....	28
2.4 PARTICULARIDADES DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES .....	30
<b>CAPÍTULO 3. POLÍTICAS PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES .....</b>	<b>31</b>
3.1 POLÍTICAS PARA ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO .....	32
3.2 MARCO JURÍDICO NACIONAL.....	33
3.2.1 <i>Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica</i> .....	33
3.2.2 <i>Contrato de interconexión</i> .....	33
3.2.3 <i>Ley del Impuesto Sobre la Renta</i> .....	35
3.2.4 <i>Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética</i> .....	35
<b>CAPÍTULO 4. TARIFAS ELÉCTRICAS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL Y COMERCIAL EN MÉXICO.....</b>	<b>38</b>
4.1 TARIFAS ELÉCTRICAS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL.....	38
4.1.1 <i>Tarifa doméstica 1</i> .....	40
4.1.2 <i>Tarifa doméstica 1A</i> .....	42
4.1.3 <i>Tarifa doméstica 1B</i> .....	44
4.1.4 <i>Tarifa doméstica 1C</i> .....	46

4.1.5 Tarifa doméstica 1D.....	48
4.1.6 Tarifa doméstica 1E.....	50
4.1.7 Tarifa doméstica 1F.....	52
4.1.8 Tarifa DAC (Doméstica de Alto Consumo).....	54
4.2 TARIFAS ELÉCTRICAS PARA EL SECTOR COMERCIAL.....	56
4.2.1 Tarifa 2.....	56
4.2.2 Tarifa 3.....	57
Tarifa O-M.....	58
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE PRODUCIR ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE PANELES FOTVOLTAICOS.....</b>	<b>61</b>
5.1 RESIDENCIAL.....	63
5.1.1 Tarifa 1.....	64
5.1.2 Tarifa 1A.....	66
5.1.3 Tarifa 1B.....	68
5.1.4 Tarifa 1C.....	70
4.1.5 Tarifa 1D.....	72
5.1.6 Tarifa 1E.....	74
5.1.7 Tarifa 1F.....	76
5.1.8 Tarifa DAC.....	78
5.2 COMERCIAL.....	81
5.2.1 Tarifa 2.....	81
5.2.2 Tarifa 3.....	83
5.2.3 Tarifa O-M.....	85
5.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	87
<b>CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE PRODUCIR ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE AEROGENERADORES.....</b>	<b>88</b>
6.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	91
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>94</b>
<b>APÉNDICE A. MAPAS DE RECURSOS EÓLICOS.....</b>	<b>97</b>
<b>APÉNDICE B. GRÁFICAS DE RADIACIÓN SOLAR, ÍNDICE DE CLARIDAD Y PRECIOS MÁXIMOS DEL ARREGLO DE PANELES FOTVOLTAICOS.....</b>	<b>103</b>
B.1 CAMPECHE.....	103
B.2 CHIAPAS.....	104
B.3 CHIHUAHUA.....	105
B.4 GUANAJUATO.....	106
B.5 GUERRERO.....	107
B.6 MONTERREY.....	108
B.7 NAYARIT.....	109
B.8 COAHUILA.....	110
A1.9 SAN LUIS POTOSÍ.....	111
B.10 SONORA.....	112
B.11 VERACRUZ.....	113
B.12 ZACATECAS.....	114
<b>APÉNDICE C. GRÁFICAS GENERALES PARA LA RENTABILIDAD POR TARIFA ELÉCTRICA (TREMA=18%).....</b>	<b>116</b>

# Introducción

---

El cambio climático se puede observar en el aumento promedio de la temperatura mundial del aire y del océano, los deshielos generalizados y el aumento promedio del nivel del mar. Por lo tanto el cambio climático es un problema de suma importancia.

El cambio climático es debido a actividades humanas, en las cuales se emplean combustibles de origen fósil principalmente, que generan los llamados gases de efecto invernadero los cuales son principalmente.

Por otra parte el yacimiento de petrolero más importante del país, el de Cantarell, ha comenzado a agotarse, por lo cual, es importante diseñar un sistema nacional que asegure el abasto de energía, este cambio tiene que ser por energías renovables, que son más limpias ya que no producen gases de efecto invernadero y por lo tanto no contribuyen al calentamiento global.

El presente trabajo analiza si es rentable la producción de energía eléctrica en los sectores residencial y comercial a base de fuentes renovables de energía como son el sol y el viento.

En el capítulo 1 se aborda el tema del cambio climático, sus causas y las consecuencias que trae consigo; también trata sobre el uso de las fuentes de energía renovables para la mitigación del cambio climático. En el capítulo 2 se mencionan algunas de las fuentes renovables de energía y se describe la situación actual así como el posible potencial eólico y solar que se tiene en México. Durante el capítulo 3 se señalan algunas de las políticas y leyes para las energías renovables en México. En el capítulo 4 se describen las distintas tarifas eléctricas para el sector comercial y residencial en México. Un análisis de la rentabilidad económica de la colocación de paneles fotovoltaicos para los sectores residencial y comercial es llevado a cabo en el capítulo 5, de la misma forma se aborda la rentabilidad económica de los aerogeneradores durante el capítulo 6. Finalmente se presentan los resultados y las conclusiones.

# Objetivo

---

Debido a que se carece actualmente de información suficiente para analizar la rentabilidad económica de sistemas eólicos y fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en México los principales objetivos del presente trabajo son:

- Identificar oportunidades dentro del sector residencial y comercial donde sea rentable económicamente el uso de paneles fotovoltaicos y/o aerogeneradores.
- Especificar el tamaño de los paneles fotovoltaicos y/o aerogeneradores en kW, para que sea rentable su instalación, en base a la cantidad de energía eléctrica que se consume, la tarifa que se paga y la ubicación geográfica del inmueble.
- Analizar cuál es el impacto ambiental que trae consigo la instalación de los paneles fotovoltaicos y/o aerogeneradores.

# Capítulo 1. Cambio Climático

---

Para el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), el cambio climático es un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos), a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC) describe el cambio climático como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en periodos de tiempo comparables.

A continuación se citan algunas de las observaciones directas del cambio climático enumeradas por el IPCC en “Cambio Climático 2007-Base de Ciencia Física”

- El promedio del contenido de vapor de agua en la atmósfera ha aumentado tanto en la tierra como en los océanos.
- La temperatura media de los océanos ha aumentado hasta profundidades de al menos 3000 m, el océano está absorbiendo más del 80% de calor añadido al sistema climático. Dicho calentamiento provoca la expansión del agua contribuyendo a elevar el nivel del mar.
- Los glaciares de montaña y la cubierta de la nieve han disminuido en promedio en ambos hemisferios contribuyendo a la elevación del nivel del mar.
- El nivel medio del mar en el mundo se elevó a un ritmo de 1.8 mm anual desde 1961 al 2003, el ritmo fue más acelerado entre 1993-2003 con 3.1 mm por año aproximadamente.
- A escala continental, regional y de cuenca oceánica, se han observado numerosos cambios climáticos a largo plazo, éstos incluyen cambios en la temperatura y el hielo ártico, cambios generalizados en la cantidad de precipitación, la salinidad de los océanos, las pautas de los vientos y las condiciones climáticas externas como sequías, fuertes lluvias, olas de calor y en la intensidad de los ciclones tropicales.
- Las temperaturas medias árticas aumentaron casi el doble que la media mundial durante los últimos 100 años.
- La extensión media anual del hielo marino ártico ha disminuido un 2.7% por decenio.
- Se ha observado un aumento significativo en las lluvias en las regiones orientales de América del Norte y del Sur, en el norte de Europa y en Asia septentrional y central.



- Se ha observado una disminución en las precipitaciones en el Sahel, el Mediterráneo, África meridional y en partes de Asia meridional.
- Los vientos del oeste de latitud media son más fuertes en ambos hemisferios desde la década de 1960.
- Se han observado sequías más prolongadas e intensas en áreas más extensas desde 1970.
- La frecuencia de fenómenos de precipitaciones fuertes se ha incrementado en la mayoría de las áreas terrestres.
- Cada vez son menos frecuentes las noches y los días fríos, mientras que las noches y los días calurosos y las ondas de calor se han vuelto más frecuentes.

El cambio climático es una realidad, como se demuestra ya por los aumentos observados en el promedio de la temperatura mundial del aire y del océano, los deshielos generalizados y el aumento del promedio mundial del nivel del mar. Así el cambio climático se perfila como el problema ambiental a nivel mundial más relevante de nuestro siglo.

## 1.1 Causas del Cambio Climático

El sistema climático es un sistema complejo e interactivo que está formado por la atmósfera, la superficie de la Tierra, la nieve, el hielo, los océanos y otros cuerpos de agua y los seres vivos.

El sistema climático evoluciona con el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y debido a cambios en los factores externos que afectan al clima. Entre los factores externos se incluyen los fenómenos naturales y los cambios en la atmósfera de origen humano.

Existen 3 maneras fundamentales para cambiar el balance de radiación solar en Tierra<sup>1</sup>:

- 1) Cambiando la radiación solar entrante a la Tierra, por ejemplo, por cambios en la órbita terrestre o en el propio Sol.
- 2) Cambiando el porcentaje de radiación solar que se refleja, causada por la nubosidad o por cambios en las partículas de la atmósfera o de la vegetación.
- 3) Mediante la alteración de la radiación de onda larga que la Tierra emite hacia el espacio, por ejemplo, cambiando las concentraciones de GEI.

Alrededor de un 30% de la radiación solar que alcanza la parte superior de la atmósfera, a 5 km por encima del nivel del mar aproximadamente, es reflejada al espacio. La energía que no es reflejada al espacio es absorbida por la superficie de la Tierra y la atmósfera. Para equilibrar la energía de entrada la Tierra tiene que emitir en promedio la misma cantidad de energía de vuelta al espacio y la refleja como radiación de onda larga.

La razón del calentamiento de la superficie terrestre es que los GEI dejan pasar la energía de onda corta proveniente del Sol pero impiden el paso de la energía de onda larga que es emitida por la Tierra al espacio, a este fenómeno se le llama efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero más importantes son el dióxido de carbono y el vapor de agua<sup>2</sup>.

Sin el efecto invernadero natural la temperatura promedio de la superficie de la Tierra podría estar por debajo del punto de fusión del agua. Por lo tanto, el efecto invernadero natural hace que la vida como la conocemos sea posible en la Tierra.

Las actividades humanas intensifican la producción de GEI ya que la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado en un 35% en la era industrial principalmente por la combustión de combustibles fósiles y la eliminación de los bosques, provocando el aumento del efecto invernadero y con ello el calentamiento global<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Working Group I Report “The Physical Science Basis” p. 96

<sup>2</sup> Working Group I Report “The Physical Science Basis” p. 97

<sup>3</sup> Working Group I Report “The Physical Science Basis” p. 97

La alteración en el equilibrio energético del sistema climático es causada principalmente por la variación de concentraciones de los gases de efecto invernadero y aerosoles en la atmósfera, por las variaciones en la corteza terrestre y la radiación solar.

Las emisiones mundiales de GEI por efectos de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004<sup>4</sup>.

Las actividades humanas, a partir de 1950, aun provocado un aumento notable en las concentraciones atmosféricas mundiales de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales.

El GEI antropogénico más importante es el dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, ya que de 1970 al 2004 se observó un aumento en sus emisiones anuales de 80% aproximadamente<sup>5</sup>.

El aumento en la concentración mundial de CO<sub>2</sub> se debe principalmente al empleo de combustibles de origen fósil. El aumento en la concentración mundial de CH<sub>4</sub> es probable que se deba a la agricultura y la utilización de combustibles de origen fósil. El aumento de la concentración de N<sub>2</sub>O se debe principalmente a la agricultura.

Muy probablemente la mayor parte del aumento de la temperatura promedio observado a mediados del siglo XX se debe a las concentraciones de GEI antropógenos. Por la tanto es muy probable que las influencias humanas han contribuido al aumento del nivel del mar, a alterar la pautas eólicas y han posiblemente intensificado el riesgo de olas de calor y aun aumentado la superficie afectada por la sequía y la frecuencia de las precipitaciones intensas.

---

<sup>4</sup> Cambio Climático 2007, Informe de Síntesis, IPCC pag. 5

<sup>5</sup> Cambio Climático 2007, Informe de Síntesis, IPCC pag. 5

## 1.2 Consecuencias del Cambio Climático

Con el aumento en las concentraciones de los GEI se crea un clima cálido, acrecentamiento del efecto invernadero, en la Tierra provocando que la nieve y el hielo comiencen a derretirse.

Cada vez son más evidentes los efectos del cambio climático ya que se considera que está provocando inundaciones, sequías y una mayor propagación del paludismo. Otros fenómenos de los cuales se cree responsable al cambio climático son el mayor número de huracanes y de incendios forestales. El aumento en el nivel del mar y los daños sufridos por las cosechas que pueden dar lugar a situaciones generalizadas de hambre son algunos de los impactos a largo plazo<sup>6</sup>.

En el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se incluyen los siguientes impactos ambientales:

- Aumento en el nivel de mar. Durante el siglo XX el nivel de mar subió cerca de 15 cm debido al derretimiento de hielo glaciar y la expansión del agua del mar más caliente. Los modelos predicen que el nivel del mar podría subir hasta 59 cm durante el siglo XXI, amenazando a las comunidades costeras, plantados y arrecifes de coral.
- El hielo del mar Ártico se derrite. El grosor del hielo marino de verano es aproximadamente la mitad de lo que era en 1950. El hielo que se derrite podría incitar a cambios en la circulación del océano y también provocar la aceleración en el calentamiento del Ártico.
- Los glaciares y la capa de hielo permanente se derriten. Durante los últimos 100 años, los glaciares de montaña en todas las regiones del mundo han disminuido de tamaño.
- La temperatura de la superficie del mar se eleva. En las últimas décadas aguas más calientes en los océanos de poca profundidad han contribuido a la muerte de cerca de un 25% de los arrecifes de coral de todo el mundo.
- Lluvias intensas provocan inundaciones en muchas áreas del mundo. Las temperaturas cálidas provocan lluvias más intensas.
- Es probable que entre 20% y 30% de las especies vegetales y animales del mundo corran peligro de extinción si la subida de la temperatura media mundial sobrepasa 1.5-2.5°C.
- Tan sólo en 2008 más de 20 millones de personas fueron desplazadas por desastres climáticos imprevistos. Es posible que para el 2050 los impactos climáticos hayan desplazado a 200 millones de personas.
- El cambio climático está contribuyendo a la carga mundial de enfermedades y muertes prematuras. En los países de bajos ingresos es donde más se sentirán los efectos adversos sobre salud, como la insolación, la malaria, el dengue y la diarrea.

---

<sup>6</sup> La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y su Protocolo de Kyoto

Según el IPCC con las políticas actuales de mitigación de efectos del cambio climático y con las prácticas de desarrollo sostenible que aquellas conllevan, las emisiones mundiales de GEI seguirán aumentando en los próximos decenios.

De continuar con una tasa de emisiones de GEI igual o superior a la actual, el calentamiento global aumentaría y el sistema climático mundial se vería afectado por diversos cambios, muy probablemente mayores a los observados durante el siglo XX<sup>7</sup>.

El calentamiento antropógeno y el aumento del nivel de mar proseguirán durante siglos debido a la magnitud de las escalas de tiempo asociadas a los procesos y retro-efectos climáticos, incluso aunque se estabilicen las concentraciones de GEI.

---

<sup>7</sup> La Ciencia del Cambio Climático, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

## 1.3 Mitigación

Los cambios en los estilos de vida y los patrones de comportamiento pueden contribuir a la mitigación del cambio climático en todos los sectores.

- Los programas de educación y capacitación pueden eliminar las barreras de la aceptación en el mercado de la eficiencia energética.
- Los cambios en el comportamiento de los inquilinos, patrones culturales, opciones del consumidor y el uso de tecnología pueden reducir considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> relativas al uso energético en edificios.
- La Gestión de Demanda de Transporte, la cual incluye la planificación urbana y la provisión de información y técnicas educativas pueden apoyar a la mitigación de los GEI.
- En el sector industrial, las herramientas de gestión, incluidas la capacitación de personal, sistemas de estimulación, retroalimentación regular y la documentación de prácticas existentes pueden ayudar a la eliminación de las barreras de organización industrial, a la reducción del uso energético y de las emisiones de GEI.

La acción de países del Anexo I puede afectar a la economía mundial y a las emisiones mundiales de GEI.

Nuevas inversiones en infraestructuras energéticas en los países en desarrollo, mejoras en las infraestructuras energéticas en los países desarrollados y las políticas que promueven la seguridad energética pueden reducir las emisiones de GEI.

- La energía renovable tiene un efecto positivo en la seguridad energética, el empleo y la calidad del aire.
- A medida que aumentan los precios de mercado de los combustibles fósiles, aumenta la competitividad de las alternativas con bajo contenido de carbono.
- La captación y almacenamiento de carbono en las formaciones geológicas subterráneas constituye una nueva tecnología que brinda la posibilidad de realizar una contribución importante a la mitigación.

En el sector transporte hay múltiples opciones de mitigación:

- La mejora de las medidas de eficiencia para vehículos, dirigidas al ahorro de combustible ha producido beneficios netos.
- Los biocombustibles podrían desempeñar un papel importante para afrontar las emisiones de GEI.
- Los cambios de modos de transporte de carretera a ferrocarril y de tierra a mar, de un número reducido de pasajeros a numerosos pasajeros, así como la planificación

urbana de los usos del suelo y del transporte no motorizado ofrecen oportunidades para la mitigación.

Las opciones de eficiencia energética para los edificios nuevos y los ya existentes podrían reducir considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> y adoptar un beneficio económico neto.

El potencial económico en el sector industrial se encuentra predominantemente en las industrias de gran consumo de energía. La modernización de las instalaciones antiguas podría dar lugar a reducciones significativas de las emisiones de GEI.

Las prácticas agrícolas en conjunto pueden hacer una contribución significativa para aumentar los sumideros de carbono en el suelo, reducir las emisiones de GEI y aportar materia prima para uso energético.

- Gran proporción de mitigación de la agricultura proviene del secuestro de carbono del suelo.
- Existe un considerable potencial de mitigación proveniente de la reducción de las emisiones de metano y de óxido nitroso en algunos sistemas agrícolas.
- La biomasa de los residuos agrícolas y de cosechas para uso energético pueden constituir una materia prima bioenergética importante.

Las actividades de mitigación relacionadas con los bosques pueden reducir en gran medida las emisiones de fuentes y aumentar la eliminación de CO<sub>2</sub>.

Los desechos derivados del consumo constituyen una pequeña aportación a las emisiones de GEI globales pero el sector de desechos puede contribuir positivamente a la mitigación de GEI y fomentar el desarrollo sostenible.

- Las prácticas existentes de gestión de los desechos pueden mitigar de modo eficaz las emisiones de GEI de este sector.
- La reducción al mínimo y el reciclaje de los desechos brindan importantes beneficios de mitigación.

### 1.3.1 Adaptación y desarrollo sostenible

El cambio climático puede hacer caer de nuevo a los países en desarrollo en la trampa de la pobreza y con ello perder los logros conseguidos hasta la fecha con respecto a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) El cambio climático afecta en todos los sentidos al desarrollo sostenible. La vulnerabilidad futura no sólo depende del cambio climático sino también de las trayectorias de desarrollo elegidas.

Entre los pasos para estrategias eficaces de puesta en práctica de la adaptación en el plano nacional se incluyen los siguientes<sup>8</sup>:

- Mejora de la base científica para la toma de decisiones
- Fortalecimiento de los métodos e instrumentos para la evaluación de la adaptación
- Educación, capacitación y sensibilización pública sobre la adaptación, enfocándolas, entre otros grupos, a los jóvenes.
- Fomento de la capacidad individual e institucional.
- Desarrollo y transferencia de tecnología y promoción de las estrategias locales de adaptación.
- Legislación y marcos normativos adecuados que promuevan medidas que favorezcan la adaptación.
- Un proceso de planificación de la adaptación que cubra diferentes escalas de tiempo, niveles y sectores.

---

<sup>8</sup> La necesidad de adaptación, United Nations Framework Convention on Climate Change



### 1.3.2 Importancia de la tecnología

Para mitigar el cambio climático y aumentar la capacidad de recuperación tras sus efectos son imprescindibles tecnologías de mitigación y adaptación ecológicamente racionales que son capaces de ofrecer soluciones beneficiosas para todas las partes, permitiendo así que el crecimiento económico mundial y la mitigación del cambio climático progresen a la par.

A menudo se considera que las tecnologías ecológicamente racionales son más caras que las tecnologías basadas en combustibles de origen fósil. Este problema disminuye a medida que aumenta la demanda de tecnología ecológicamente racional y se adaptan enfoques que tengan en cuenta los costes ambientales pero este proceso sólo puede comenzar si se prepara adecuadamente el mercado con políticas apropiadas y los mercados de carbono continúan desarrollándose.

La incorporación de las tecnologías ecológicamente racionales se ve obstaculizada por una serie de barreras jurídicas, reglamentarias, institucionales, financieras, relacionadas con la falta de capacitación y sociales, como el comportamiento y los hábitos del ser humano, a la necesidad de invertir en la infraestructura que requieren las nuevas tecnologías energéticas. Para superar estas barreras será necesario fomentar la capacitación y adoptar una amplia gama de innovadores enfoques de políticas públicas. También es necesario dar impulso a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.

Algunos ejemplos de tecnologías poco contaminantes que existen para el dióxido de carbono que son comerciales son<sup>9</sup>:

- Eficiencia energética
- Tecnologías de energía renovable, como paneles solares, turbinas eólicas, la biomasa y la generación de energía hidroeléctrica.
- Vehículos híbridos
- Energía nuclear

---

<sup>9</sup> Por qué es tan importante la tecnología, United Nations Framework Convention on Climate Change

## Capítulo 2. Energías renovables

---

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable para la humanidad y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua.<sup>10</sup>

Las fuentes de energía renovable más comunes son:

1. Eólica
2. Radiación solar
3. Hidráulica
4. Bioenergía
5. Geotermia
6. Olas
7. Mareas
8. Corrientes oceánicas

Durante las últimas décadas se ha dado a nivel mundial un proceso de transición hacia una mayor participación de las energías renovables, impulsado principalmente por:

- Las preocupaciones de soberanía y de seguridad en el abasto de energía en países importadores de energía, sobre todo a partir de las crisis petroleras, y la cada vez mayor volatilidad de los precios de los combustibles.
- Las preocupaciones por los impactos ambientales de los sistemas energéticos: en particular por la lluvia ácida y más recientemente por el cambio climático.

A continuación se describe brevemente las principales características y tecnologías para el aprovechamiento de la energía eólica y solar que son las fuentes que se estudian durante el presente trabajo.

---

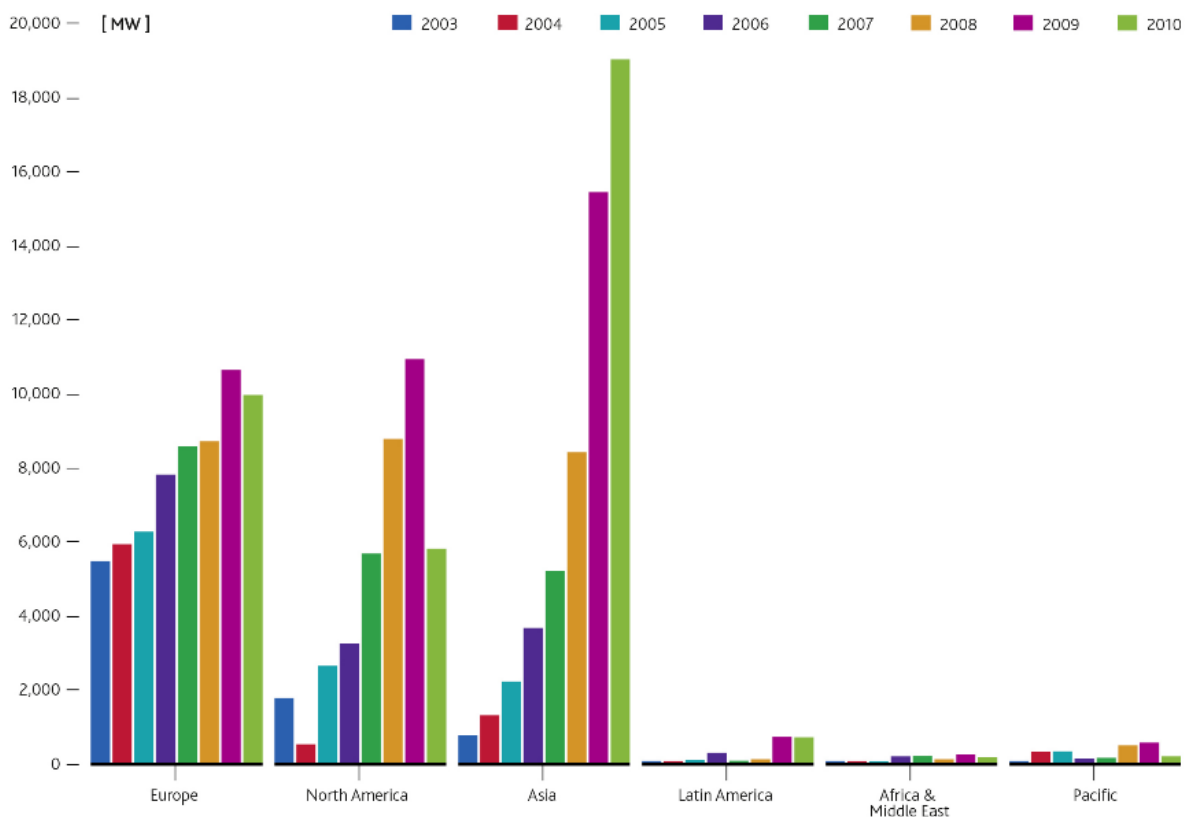
<sup>10</sup> SENER, Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009 p.12

## 2.1 Energía eólica

La capacidad de energía eólica instalada en el mundo aumentó durante el 2010 en 35.8 GW según cifras publicadas por el Consejo Mundial de Energía Eólica, con esto la capacidad actual total es de 194.4 GW. Durante el 2010 la capacidad instalada en México aumento en 316 MW.

En la figura 2.1 se muestra la capacidad instalada por región del 2003 al 2010, donde se puede apreciar que tanto Europa como Norte América tenían la mayor capacidad instalada hasta el año 2008, para el 2009 Asia aumenta su capacidad rápidamente ya para el 2010 la capacidad de Asia es casi en doble que la de Europa y América del Norte, este crecimiento se debe principalmente al impulso que China le ha dado a la energía eólica ya que durante el 2010 su capacidad instalada aumento en 16.5 GW. Los países de América latina han comenzado a aumentar su capacidad instalada de forma importante durante los últimos dos años.

**Figura 2.1 Capacidad instalada en energía eólica anual por región 2003-2010**



Fuente: *Global wind capacity increases by 22% in 2010 - Asia leads growth* <http://www.gwec.net>

### 2.1.1 Tecnologías

Las turbinas eólicas transforman la energía cinética del viento en energía mecánica, ya sea para mover directamente una máquina tal como una bomba de agua o bien para impulsar un generador eléctrico.

Los componentes comunes en la mayoría de los aerogeneradores son los siguientes:

1. Rotor: su función es transformar la energía cinética del viento en energía mecánica utilizable.
2. Tren de potencia o conversión mecánica: está constituido por el eje de velocidad baja, la caja de cambios de velocidad, el eje de velocidad y las balerinas o cojinetes que soportan los ejes.
3. Sistema eléctrico: es el generador eléctrico que está acoplado al eje para transformar la energía mecánica en electricidad.
4. Chasis: contiene los elementos claves de la turbina, como la caja de cambios y el generador.
5. Sistema de orientación: las máquinas de eje horizontal tienen este componente que coloca el rotor en la misma dirección que tiene la orientación del viento.
6. Torre: la altura de la torre debe de ser suficiente para evitar las turbulencias del viento causadas por el suelo y los obstáculos.
7. Sistema de seguridad: en caso de que ocurran anomalías como pérdidas de carga, velocidad de rotación o temperatura del generador o caja de cambios demasiado altas.

En el transcurso de las últimas dos décadas la tecnología de las turbinas eólicas ha avanzado radicalmente y sus costos se han reducido hasta hacerse competitivos con las tecnologías convencionales en contextos geográficos favorables<sup>11</sup>. La eficiencia de los aerogeneradores tomando en cuenta la eficiencia del rotor y el generador es de alrededor de 35%<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> SENER, Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009 p. 17

<sup>12</sup> BUN-CA, Manuales sobre energía renovable (Eólica) 2002 p. 8

### 2.1.2 Estimación del recurso

La cantidad de energía mecánica o eléctrica que puede generar una turbina eólica depende de las características del viento vigentes en el sitio de instalación. Por lo cual, la rentabilidad del proyecto depende directamente del recurso eólico local.

Existen tres componentes del viento que determinan la potencia disponible de un sistema de conversión de energía eólica<sup>13</sup>:

1. Velocidad del viento: es un parámetro crítico ya que la potencia varía según el cubo de la velocidad del viento. Las turbinas eólicas requieren una velocidad de viento mínima para comenzar a generar energía, para pequeñas turbinas esta velocidad es de aproximadamente 3.5 m/s.
2. Características del viento (turbulencia): mientras que los modelos de viento globales ponen el aire en movimiento y determinan el recurso del viento en una región, rasgos topográficos locales, que incluyen formaciones geográficas, flora y estructuras artificiales, pueden mostrar la diferencia entre un recurso eólico utilizable y uno que no lo es.
3. Densidad del aire: temperaturas bajas producen una densidad de aire más alta. Mayor densidad del aire significa más fluidez de las moléculas sobre una pala de la turbina, produciendo un rendimiento más alto de la potencia para la una velocidad del viento dada.

### 2.1.3 Capacidad instalada en México

Para el año 2009 la producción de energía primaria de energía eólica fue de 0.91 petajoules según datos reportados en el Balance Nacional de Energía 2009. Se espera que la capacidad total instalada en México para principios del 2012 sea de aproximadamente 670 MW<sup>14</sup>:

- 85 MW en La Venta I y II
- 101 MW en La Venta III
- 400 MW Oaxaca I, II, III y IV
- 80 MW en el proyecto de autoabastecimiento Parques Eólicos de México
- 0.6 MW en una turbina de la CFE en Guerrero Negro, Baja California Sur.
- 3 MW en pequeñas aerobombas

---

<sup>13</sup> BUN-CA, Manuales sobre energía renovable (Eólica) 2002 p. 6-7

<sup>14</sup> Datos tomados de: Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009, Boletines de prensa de la CFE (<http://saladeprensa.cfe.gob.mx/boletin/index.alia?docID=8385>)

### 2.1.4 Potencial eólico

No se ha evaluado completamente el potencial eólico en el país, sin embargo, se tienen estudios del potencial en algunas zonas específicas, se tienen mapas eólicos para Oaxaca, Baja California Sur, las costas de Yucatán y de Quintana Roo y las franjas fronterizas de los Estados de Baja California, Sonora y Chihuahua elaborados por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estado Unidos, en el apéndice A se pueden ver dichos mapas.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) en el 2007 estima que la capacidad de generación eolétrica instalada puede crecer en una primera etapa mediante la instalación de cerca de 2,000 MW en diferentes áreas del territorio nacional.

Durante el 2007 los Laboratorios Nacionales de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL), estima que conservadoramente, en las zonas más ventosas del estado podrían instalarse 6,000 MW; pero si se incluyen las zonas que tienen velocidades promedio anuales entre 6.7 m/s y 8.5 m/s, el potencial eléctrico podría ser mayor a los 33,000 MW<sup>15</sup>.

### 2.1.5 Ventajas y desventajas

#### Ventajas

- Tiene un impacto ambiental mínimo ya que no hay emisión de sustancias o gases para la producción de energía.
- El viento es una fuente de energía inagotable.
- Los costos de operación y mantenimiento son bajos.
- Los proyectos de energía eólica se pueden construir en periodos pequeños.

#### Desventajas

- Dependen de la variabilidad del viento así como de su velocidad.
- Costo inicial alto comparado con tecnologías que emplean fuentes de energía no renovables.
- Impacto visual.

---

<sup>15</sup> Central eolétrica la venta II. Revista digital universitaria vol. 8 num. 12 diciembre del 2007

### 2.1.6 Costos

El costo de instalar aerogeneradores interconectados a la red eléctrica es de 35 a 50 \$/W para tamaños mayores a los 900 W<sup>16</sup>. Este costo incluye la instalación, mano de obra, aerogenerador, inversor y torre. No se ha tomado en cuenta el uso de baterías, estos costos pueden cambiar debido al tipo de cambio peso-dólar vigente al momento de la compra.

Algunos de los aspectos que influyen en los costos de la energía eólica son los siguientes:

- Dependen de la velocidad promedio del viento, ya que la cantidad de energía generada aumenta exponencialmente con la velocidad del viento, pequeñas diferencias en la velocidad del viento significan grandes diferencias en la generación de energía.
- Disponibilidad local de distribuidores e instaladores de los equipos eolécnicos.
- Demanda energética del usuario.
- Distancia y facilidad de acceso entre el lugar de venta de los equipos y el lugar donde se deben instalar.
- Márgenes de ganancias de los vendedores e instaladores de los equipos.

---

<sup>16</sup> Precios obtenidos de diciembre del 2010 a marzo del 2011 en base a cotizaciones realizadas a empresas mexicanas.

## 2.2 Energía solar

### 2.2.1 Tecnologías

Existen dos tecnologías para la generación de electricidad a partir de radiación solar: la fotovoltaica y la concentración solar. Las celdas fotovoltaicas transforman directamente la radiación solar en electricidad, por medio de un fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico. Las celdas fotovoltaicas se pueden utilizar en conexión con la red eléctrica o bien en sitios aislados por medio de sistemas que incluyen baterías.

Los sistemas fotovoltaicos están formados principalmente por:

1. Módulo o panel solar: transforma la energía solar en energía eléctrica.
2. Batería: almacena la energía eléctrica generada.
3. Controlador de carga: entrega adecuadamente la energía producida y almacenada.
4. Inversor: Transforma la corriente eléctrica directa proveniente de la batería en corriente alterna.

En las centrales de concentración solar, la radiación solar calienta un fluido, que a su vez mueve una máquina térmica y un generador eléctrico. El calentamiento del fluido se hace generalmente por medio de dispositivos ópticos que concentran la radiación solar, logrando altas temperaturas.

### 2.2.2 Capacidad instalada en México

En México prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos se encuentran en comunidades rurales aisladas de la red eléctrica y muchos de ellos fueron instalados por medio de programas gubernamentales de electrificación rural. Se estima que la capacidad total de estas instalaciones es de 18.5 MW y que generan en promedio 0.032 TJ/año<sup>17</sup>.

Gracias a nuevas regulaciones que hacen posibles las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica ya existen en México algunos proyectos de este tipo y hay intereses de diversos actores para desarrollar más proyectos. Sin embargo la viabilidad

---

<sup>17</sup> Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009. SENER. 2009, p.23



económica depende fuertemente de los costos de inversión y la tarifa contra la cual el sistema compete<sup>18</sup>.

### 2.2.3 Potencial solar

La irradiación solar global en México es en promedio de 5 KWh/día/m<sup>2</sup>, pero en algunas regiones del país se llega a valores de 6 KWh/día/m<sup>2</sup>. Suponiendo una eficiencia del 15%, bastaría un cuadrado de 25 km de lado en el desierto de Sonora o Chihuahua para generar toda la energía eléctrica que requiere hoy en día el país<sup>19</sup>.

### 2.2.4 Ventajas y desventajas

#### Ventajas

- México dispone de abundante radiación solar durante todo el año.
- La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas.
- La operación de los sistemas fotovoltaicos es amigable con el medio ambiente.
- Los sistemas fotovoltaicos tienen una vida útil mayor a los 20 años.
- El mantenimiento es sencillo y tiene costos bajos.
- Los precios de los sistemas fotovoltaicos se han reducido en los últimos años y se espera que esta tendencia siga.
- Los equipos y sistemas fotovoltaicos son confiables hoy en día para satisfacer las necesidades energéticas.

#### Desventajas

- La inversión inicial es alta con respecto a tecnologías que utilizan energías no renovables.
- La disponibilidad de energía es variable y depende del clima.

---

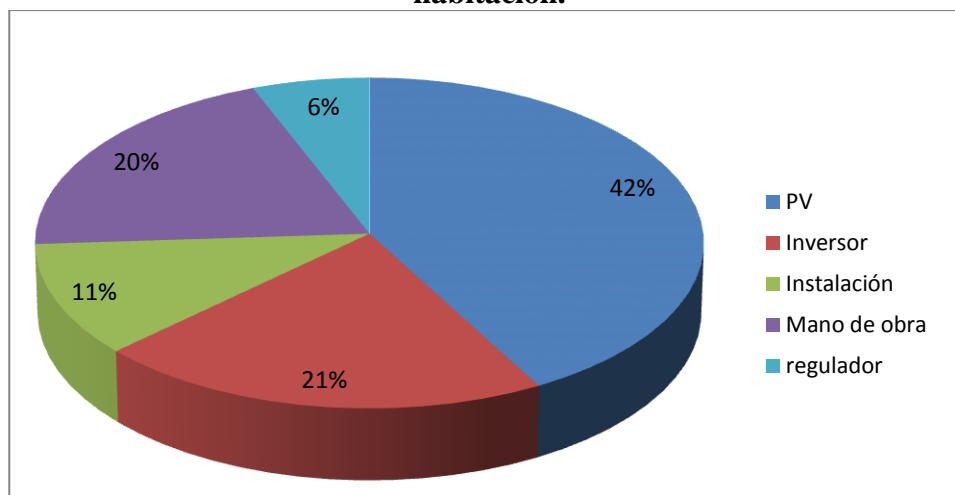
<sup>18</sup> CONUEE, Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos en conexiones a la red eléctrica en México

<sup>19</sup> SENER, Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009 p. 24

## 2.2.5 Costos

El costo de instalar paneles fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica en México es 45 a 60 \$/W<sup>20</sup>, este costo incluye la instalación, la mano de obra, el panel fotovoltaico, el inversor y el regulador.

**Figura 2.2 Costo de los componentes de un sistema fotovoltaico en una casa habitación.**



Elaboración propia a partir de cotizaciones realizadas en febrero del 2011 y con datos de “Manuales sobre energía renovable”

Se estima que el componente más caro de un sistema fotovoltaico es el panel solar con un costo de 42% de la inversión, posteriormente el inversor o convertidor con 21%, seguido de la mano de obra con 20%, 11% para la instalación y finalmente 6% para el regulador. Estos costos pueden variar debido al tipo de cambio peso-dólar vigente al momento de la compra.

La inversión necesaria para adquirir un sistema fotovoltaico depende de varios factores:

- Precios internacionales del mercado fotovoltaico.
- Disponibilidad local de distribuidores e instaladores de los equipos fotovoltaicos.
- Demanda energética del usuario.
- Distancia y facilidad de acceso entre el lugar de venta de los equipos y el lugar donde se deben instalar.
- Márgenes de ganancias de los vendedores e instaladores de los equipos.

<sup>20</sup> Precios obtenidos de diciembre del 2010 a marzo del 2011 en base a cotizaciones realizadas a empresas mexicanas.



## 2.3 Los beneficios de las energías renovables

Las energías renovables producen diversos tipos de beneficios a los sistemas energéticos y a los países en su conjunto, estos beneficios son económicos, sociales y ambientales. Los beneficios en el caso de México son:

### Beneficios económicos

- Reducción de los costos y los riesgos económicos de la energía. Muchas tecnologías de energías renovables son la opción más económica para comunidades aisladas.
- Contribución a la soberanía energética. La participación de las energías renovables permite conservar nuestros recursos no renovables y posponer el posible momento en el que el país se convierta en importador neto de energéticos.
- Aumento en la seguridad en el abasto de energía. Algunos analistas de la industria mundial de hidrocarburos aseguran que nos encontramos ya en el cenit en la curva de producción mundial de hidrocarburos, por lo cual, las energías renovables desempeñan un importante papel al aumentar la seguridad en el abasto de energía.

### Beneficios sociales: desarrollo rural e industrial

- Mayor acceso a servicios energéticos sustentables en áreas rurales. La electrificación rural es un muchos casos una opción más rentable que las extensiones de la red eléctrica, para el 2.5% de las viviendas en el país que no disponen de acceso a la energía eléctrica<sup>21</sup>.
- Fomento del desarrollo rural e industrial. Se estima que en México el desarrollo acelerado de las energías renovables, aunado a mecanismos de política industrial, podría conducir a la creación de al menos 100,000 empleos<sup>22</sup>.

### Beneficios ambientales globales y locales

- Mitigación del cambio climático. En México el sector energía contribuye con el 61% de las emisiones GEI y el país ocupa el lugar número 13 a nivel mundial en cuanto a emisiones<sup>23</sup>. El aprovechamiento de las energías renovables contribuye con una de las principales estrategias de mitigación del cambio climático a nivel mundial.

---

<sup>21</sup>SENER, Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009 p. 41

<sup>22</sup>SENER, Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009 p. 41

<sup>23</sup>SENER, Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009 p. 42

- Reducción de los impactos del sector energía sobre la salud y el medio ambiente. El sector energía produce gases y partículas contaminantes con efectos locales directos e indirectos a la salud. Las energías renovables permiten desplazar el consumo de combustibles fósiles y como consecuencia reducir estos impactos.
- Las energías renovables pueden contribuir a la protección de bosques y selvas.

## 2.4 Particularidades de las energías renovables

Generalmente las fuentes de energía renovables se encuentran dispersas en el territorio, por lo cual, es necesaria una mayor área para obtener determinada cantidad de energía en comparación con las tecnologías convencionales, esto no ocurre con la energía hidráulica y geotérmica. Por lo anterior los proyectos de energías renovables suelen ser en pequeña escala comparados con las tecnologías convencionales.

Otra particularidad de las tecnologías de energías renovables es que dependen de ciertos procesos naturales variables, por lo cual en algunos casos su disponibilidad no es predecible ni controlable, para la generación de energía eléctrica esto es muy importante ya que las baterías y otras tecnologías para el almacenamiento de la energía eléctrica aún son caras para aplicarse a gran escala.

Los costos de inversión, por MW, de las tecnologías de energías renovables suelen ser mayores que los de las tecnologías convencionales pero los costos de operación son menores para las energías renovables.

## Capítulo 3. Políticas para las energías renovables

---

Dada la importancia de la energía como elemento determinante de la calidad de vida de la población, como insumo imprescindible y difundido sobre todo el aparato productivo, como destino de una considerable magnitud de las inversiones requeridas por el sistema de abastecimiento y atendiendo a la fuerte interacción con el ambiente, tanto por el uso intensivo de los recursos naturales como por los impactos derivados por su producción, transporte y utilización, la política energética desempeña un rol de especial significado dentro de las políticas de desarrollo<sup>24</sup>.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, afirma que las políticas energéticas influyen para lograr:

- Crecimiento económico sustentable: con mayor eficiencia en la producción y utilización de la energía
- Equidad social: con la cobertura de los requerimientos básicos de energías, en cantidad y calidad.
- Menor impacto ambiental: con una explotación racional de los recursos energéticos naturales, una mayor eficiencia energética, el uso de fuentes renovables y con tecnologías limpias.

---

<sup>24</sup> CEPAL, Energía y desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la formulación de políticas energéticas.

### 3.1 Políticas para energías renovables en el mundo

Las políticas mundiales para el impulso de las energías renovables tienen tres propósitos:

1. Reconocer y valorar los beneficios de las energías renovables
2. Adaptar los sistemas y mercados energéticos a las particularidades de las energías renovables.
3. Fomentar el flujo de información sobre las energías renovables, es decir dar a conocer potenciales, características de la tecnología así como costos y beneficios.

La SENER en “*Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México*” considera que las políticas para el fomento de las energías renovables deben de tener las siguientes características:

- Las políticas deben de permitir la participación de actores de pequeña escala en los mercados energéticos.
- Es necesaria la participación de actores privados en el financiamiento, la ejecución y la operación de los proyectos de energías renovables.
- Debido a los altos costos de inversión es importante que las políticas ofrezcan una certidumbre de largo plazo y garanticen procedimientos administrativos sencillos y transparentes, para reducir los riesgos de desarrollo de proyectos.
- La dimensión territorial de los proyectos de energías renovables implica que la necesidad de certidumbre y la simplificación administrativa se dé en el plano de los instrumentos de política relacionados con el ordenamiento del territorio a nivel federal, estatal y municipal.
- Las políticas públicas deben de establecer mecanismos que permitan valorar los distintos beneficios de las energías renovables. Por lo cual es necesario establecer mecanismos de incentivos financieros.
- Para el caso de sistemas eléctricos, las políticas deben establecer procedimientos para ajustar la planeación y la operación de dichos sistemas a nuevos patrones de generación más distribuida y a tecnologías variables de generación.



## 3.2 Marco jurídico Nacional

El aprovechamiento de las fuentes renovables de energía se sustenta en varios artículos de la Constitución Política de México entre los que destacan:

- Artículo 4º, establece el derecho a un medio ambiente adecuado.
- Artículo 25º, señala que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable y que fortalezca la soberanía nacional.
- Artículo 27º, en su tercer párrafo otorga a la Nación el derecho de regular, en beneficio social, “el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación [incluyendo los energéticos no renovables], con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.”
- Artículo 28º, establece la necesidad de asegurar la eficiencia de la prestación de los servicios y la utilización social de los bienes.

### 3.2.1 Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica

Con las reformas a la ley del Servicio Público de Energía Eléctrica publicadas en el Diario Oficial de la Federación en 1992<sup>25</sup>, se permite la producción de electricidad por particulares en las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración, pequeño productor, productor independiente de energía, exportación e importación para uso propio, toda vez que no se consideran servicio público de energía eléctrica, en los términos del artículo 3º de dicho ordenamiento. Por lo cual se abren espacios de oportunidad para las distintas fuentes de energía renovable.

### 3.2.2 Contrato de interconexión

En el 2001 se publican en el diario Oficial de la federación diversos instrumentos de regulación que consideran las características de las fuentes de energía renovables con la

---

<sup>25</sup> Diario Oficial de la Federación. Tomo CDLXXI, No 17. Correspondiente al 23 de diciembre de 1992

disponibilidad intermitente, a través del “Contrato de Interconexión para Fuentes de Energías Renovables”<sup>26</sup>, por parte de la Comisión Reguladora de Energía (CRE).

La Comisión Reguladora de Energía ha expedido tres resoluciones relacionadas con proyectos de aprovechamiento de energías renovables para la generación de electricidad.

### **Contrato de interconexión para fuente de energía renovable de tipo intermitente (CIEI)**

Se aplica a los proyectos de autoabastecimiento remotos que utilizan fuentes renovables intermitentes como eólica y solar, en dichos proyectos el punto de generación está ubicado en un sitio distinto al punto de consumo, por lo que se recurre a la red de transmisión para realizar el porteo de energía entre distintos sitios.

### **Contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala**

Permite a casas habitación y comercios pequeños conectados a la red eléctrica generar su propia energía eléctrica aprovechando la energía solar, bajo la modalidad de medición neta. En caso de haber en algún momento excedentes de electricidad el particular puede intercambiar energía con la empresa eléctrica, compensándola contra el consumo en otros momentos.

El “Contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala” ha cambiado desde su publicación, actualmente se conoce como “Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala” y permite a los usuarios con servicio de uso residencial instalar una potencia máxima de 10 kW y a los usuarios con servicio de uso general en baja tensión instalar una potencia máxima de 30 KW de generación de energía producida por una fuente de energía renovable o por un sistema de cogeneración bajo el régimen de medición neta.

En la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, que se cita más adelante en el presente trabajo, se definen cuáles son las energías renovables.

### **Modelo de contrato de compromiso de compraventa de energía eléctrica para pequeño productor en el Sistema Interconectado Nacional**

Se aplica a cualquier proyecto de pequeña producción, proyectos que generan electricidad exclusivamente para su venta a la red eléctrica y con una capacidad menos de 30 MW, y ofrece a aquéllos que utilizan energías renovables un beneficio en los pagos.

---

<sup>26</sup> Diario Oficial de la Federación. Tomo DLXXVI, No 5. Correspondiente al 7 de septiembre de 2001

### 3.2.3 Ley del Impuesto Sobre la Renta

En el 2004 entra en vigor la modificación a la Ley del Impuesto Sobre la Renta<sup>27</sup>, en donde se establece que los contribuyentes de dicho impuesto que inviertan en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables, pueden deducir 100% de la inversión en un solo ejercicio<sup>28</sup>. Con el propósito de que las inversiones no se lleven a cabo con el único fin de reducir la base gravable del impuesto, se contempla como obligación que la maquinaria y equipo que se adquiere se mantenga en operación durante un periodo mínimo de cinco años.

Según el artículo 1° de la Ley del Impuesto Sobre la Renta las personas físicas y morales están obligadas al pago de dicho impuesto en los siguientes casos<sup>29</sup>:

- I. Las residentes en México, respecto a todos sus ingresos cualquiera que sea la ubicación de la fuente de riqueza de donde procedan.
- II. Los residentes en el extranjero que tengan establecimiento permanente en el país, respecto de los ingresos atribuibles a dicho establecimiento permanente.
- III. Los residentes en el extranjero, respecto de los ingresos procedentes de fuentes de riqueza situadas en territorio nacional, cuando no tengan un establecimiento permanente en el país, o cuando teniéndolo, dichos ingresos no sean atribuibles a éste.

### 3.2.4 Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética

A partir del 28 de noviembre del 2008 las energías renovables cuentan con un marco legal específico: Ley para el aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética<sup>30</sup>, que tiene como objetivo regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generación eléctrica con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica. Para lograr este objetivo la Ley prevé los siguientes instrumentos:

- La estrategia Nacional para la Transición Energética y el aprovechamiento Sustentable de la Energía, la cual comprende el instrumento encaminado a garantizar la eficiencia y sustentabilidad energéticas a fin de fomentar la utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables para tecnologías limpias.
- El Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías renovables, es el instrumento mediante el cual se establecen las políticas públicas en la materia,

---

<sup>27</sup> Diario Oficial de la Federación. Tomo DCXV, No 1. Correspondiente al 1 de diciembre de 2004.

<sup>28</sup> Fracc. XII, Art. 40, Ley del Impuesto sobre la Renta.

<sup>29</sup> Ley del Impuesto Sobre la Renta. Art. 1, DOF 31-12-2010

<sup>30</sup> Diario Oficial de la Federación. Tomo DCLXII, No 19. Correspondiente al 28 de noviembre de 2008.

determinando los objetivos para el uso de dichas fuentes de energía, y las acciones para alcanzarlas.

El reglamento correspondiente publicado en el Diario Oficial el día 2 de septiembre del 2009 desarrolla la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética de la siguiente manera:

- La Secretaría de Energía considerará para la determinación de beneficios económicos de la generación renovable, además de las externalidades y del aporte de capacidad, los riesgos y costos de los distintos portafolios energéticos y los beneficios de los mercados de carbono.
- La Secretaría de Energía realizará una prospectiva de energías renovables, que servirá de guía para la elaboración del Programa y que se sumará a las otras prospectivas que ya realiza.
- La generación de electricidad se realizará por medio tanto de proyectos licitados como de proyectos fuera de convocatoria. En ambos casos los proyectos deberán responder a las metas establecidas en el programa y los pagos serán definidos por la CRE.

En la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética se define a la energía renovable como: aquellas reguladas por esta Ley, cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que se enumeran a continuación<sup>31</sup>:

- a) El viento;
- b) La radiación solar, en todas sus formas;
- c) El movimiento del agua en cauces naturales o artificiales;
- d) La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: maremotriz, maremotérmica, de las olas, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal;
- e) El calor de los yacimientos geotérmicos;
- f) Los bioenergéticos, que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos y
- g) Aquellas otras que, en su caso, determine la Secretaría, cuya fuente cumpla con el primer párrafo de esta sección.

---

<sup>31</sup> Fracc. II, Art. 3°, Ley para el aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética

La “Estrategia Nacional de Energía” del 2010 tiene como base la Visión al 2024 y está conformada por tres Ejes Rectores:

1. Seguridad energética
2. Eficiencia económica y productiva
3. Sustentabilidad Ambiental

En base a estos tres Ejes Rectores se establecen nueve objetivos<sup>32</sup>:

1. Restituir reservas, revertir la declinación de la producción de crudo y mantener la producción de gas natural.
2. Diversificar las fuentes de energía, incrementando la participación de tecnologías limpias.
3. Incrementar los niveles de eficiencia en el consumo de energía.
4. Reducir el impacto ambiental del sector energético.
5. Operar de forma eficiente, confiable y segura la infraestructura energética.
6. Ejecutar oportunamente las acciones necesarias en capacidad de procesamiento para reducir el costo de suministro de energéticos.
7. Fortalecer la red de transporte, almacenamiento y distribución de gas y petrolíferos.
8. Proveer de energéticos de calidad y a precios competitivos a los centros de población marginados del país.
9. Promover el desarrollo tecnológico y de capital humano para el sector energía.

Para diversificar las fuentes de energía, incrementando la participación de tecnologías limpias, la Estrategia Nacional de Energía plantea un incremento en la utilización de las energías renovables, hidroeléctricas y energía nuclear. Así para el 2014 se espera contar con una capacidad de generación eléctrica con tecnologías limpias de 35%, esto por medio de marcos regulatorios, la utilización de incentivos económicos y el desarrollo y la promoción de dichas tecnologías.

En el 2008 la participación de fuentes limpias de energía incluyendo a las hidroeléctricas, nuclear y renovables fue de solamente el 5% de la producción total de energía primaria y 7% de la oferta interna bruta de energía<sup>33</sup>.

---

<sup>32</sup> SENER, *Estrategia Nacional de Energía*. Febrero 2010

<sup>33</sup> SENER, *Estrategia Nacional de Energía*. Febrero 2010 p.19

# Capítulo 4. Tarifas eléctricas para el sector residencial y comercial en México

---

## 4.1 Tarifas eléctricas para el sector residencial

En México, las tarifas eléctricas para el sector residencial se encuentran subsidiadas, este subsidio depende de la cantidad de energía que se consume mensualmente y de la temperatura media mensual en verano de la zona en que se encuentra ubicada la casa habitación, así, entre menor sea el consumo y mayor la temperatura media mensual en verano mayor es el subsidio otorgado. Existen ocho tarifas eléctricas para el sector residencial: 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F y DAC.

Tabla 4.1 Aumento anual de los cargos por energía consumida de enero del 2000 a enero del 2011 para las tarifas residenciales (1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F)

Año	Precio de la electricidad en enero (\$/kWh)			Aumento con respecto al año anterior (%)		
	básico	intermedio	excedente	básico	intermedio	excedente
2000	0.397	0.463	1.361	---	---	---
2001	0.433	0.510	1.496	9.07	10.15	9.92
2002*	0.472	0.654	1.634	9.01	28.24	9.22
2003	0.505	0.839	1.761	6.99	28.29	7.77
2004	0.529	0.887	1.862	4.75	5.72	5.74
2005	0.562	0.935	1.970	6.24	5.41	5.80
2006	0.597	0.986	2.080	6.23	5.45	5.58
2007	0.621	1.022	2.164	4.02	3.65	4.04
2008	0.639	1.049	2.227	2.90	2.64	2.91
2009	0.663	1.089	2.313	3.76	3.81	3.86
2010	0.687	1.137	2.409	3.62	4.41	4.15
2011	0.711	1.185	2.505	3.49	4.22	3.99
<b>Promedio</b>	<b>0.568</b>	<b>0.896</b>	<b>1.98</b>	<b>5.46</b>	<b>9.27</b>	<b>5.73</b>

\* Para el año 2002 se toma el precio para el mes de febrero ya que no se encuentra disponible el precio para el mes de enero en la página de la CFE.

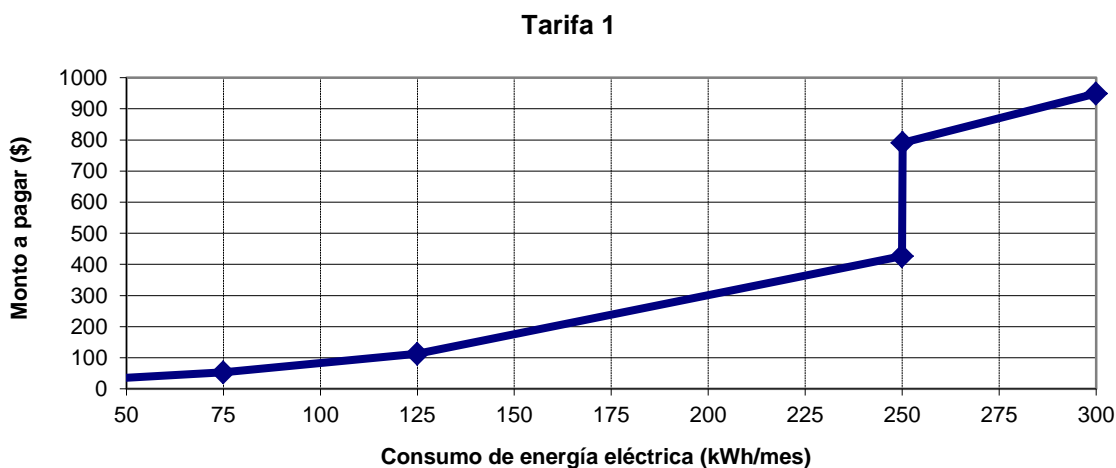
En la Tabla 4.1 se presentan los precios de la energía eléctrica para el sector residencial del año 2000 al 2011, el aumento promedio anual del precio del kWh básico es de 1.98%, mientras que el kWh intermedio presenta un aumento promedio anual de 9.27% y finalmente el kWh excedente tiene un aumento promedio anual de 5.73%. Por lo que el aumento promedio anual del 2000 al 2011 es de 6.82%.

### 4.1.1 Tarifa doméstica 1

Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.

Tabla 4.2. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1.

Cargos por energía consumida, para consumos hasta 140 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh
intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 140 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 50 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

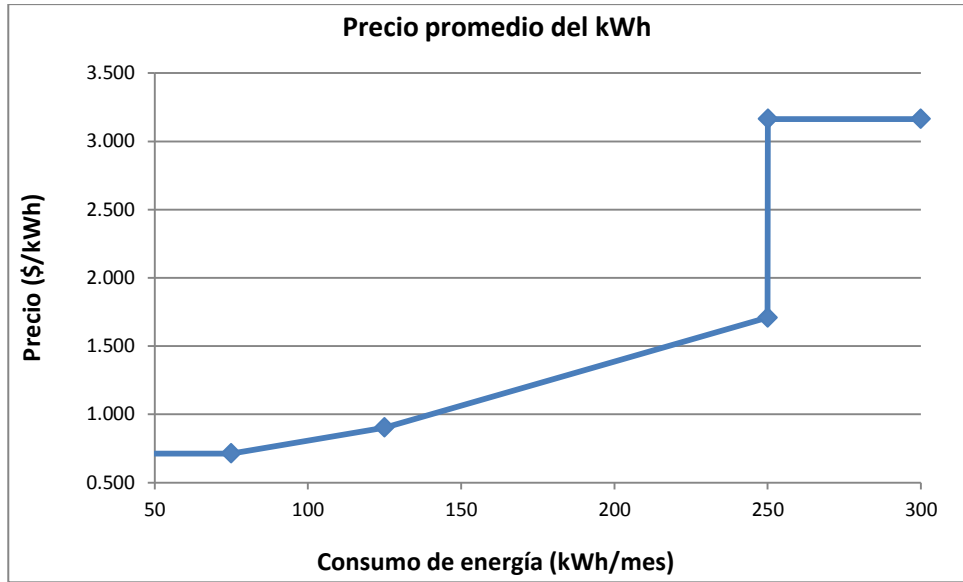


Gráfica 4.1 Monto a pagar sin IVA por la energía eléctrica consumida durante un mes para la Tarifa 1 con precios de febrero del 2011.

La gráfica 4.1 muestra el monto a pagar por el consumo de energía eléctrica durante un mes en tarifa doméstica 1, en la cual, al superar el consumo de 250 kWh/mes se entra a Tarifa DAC por lo que el monto a pagar crece bruscamente.

A medida que aumenta el consumo de energía eléctrica aumenta el precio del kWh como se puede ver en la gráfica 4.2 al superar el consumo de 250 kWh/mes el precio del kWh crece de \$1.7 a \$3.2 aproximadamente, es decir, el precio por kWh aumenta casi el doble.





Gráfica 4.2 Precio promedio del kWh en base al consumo de energía eléctrica mensual.

### 4.1.2 Tarifa doméstica 1A

Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 25 grados centígrados como mínimo.

Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 25 grados centígrados, cuando alcance el límite indicado durante tres o más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos o más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

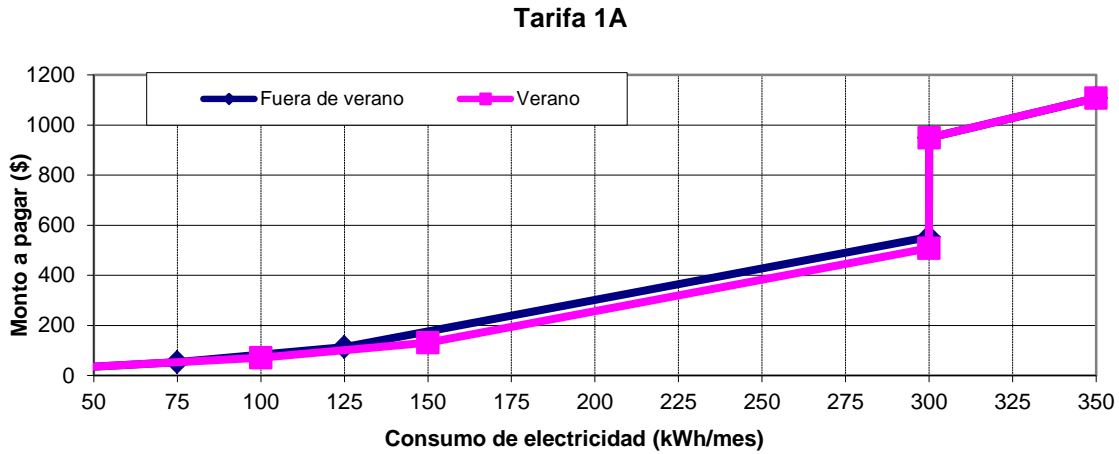
Tabla 4.3. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1A fuera de verano.

Cargos por energía consumida, para consumos hasta 150 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh
intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 150 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 50 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

Tabla 4.4. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1A en verano.

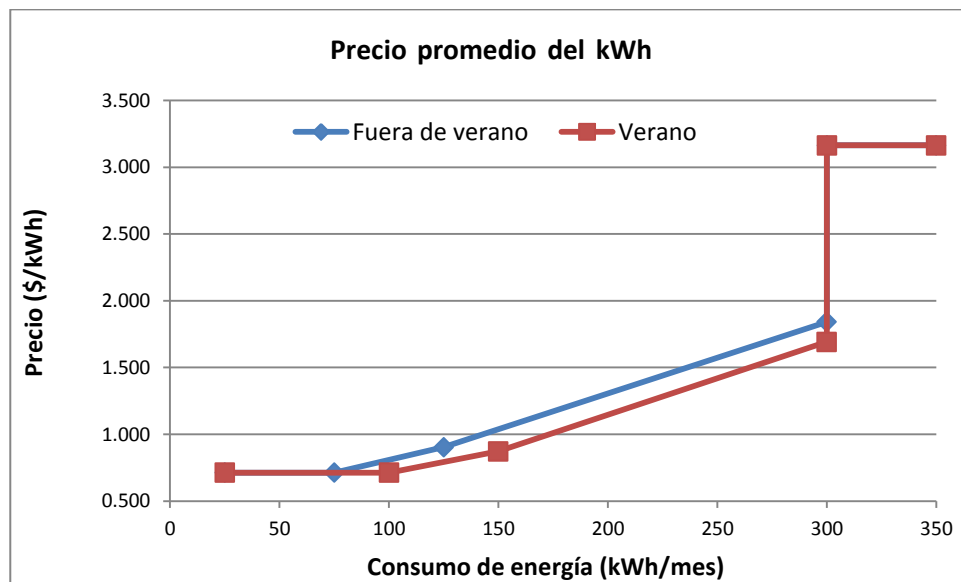
Cargos por energía consumida, para consumos hasta 150 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 100 kWh
intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 150 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	Por cada uno de los primeros 100 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 50 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

La energía eléctrica durante el verano tiene un mayor subsidio como se puede ver en la gráfica 4.3, esto es debido a que durante el verano la temperatura es mayor y por lo tanto se requiere de equipos de aire acondicionado para el confort humano dentro de la casa habitación.



Gráfica 4.3 Comparación del monto a pagar sin IVA por la energía eléctrica consumida durante un mes en verano (rosa) y fuera de verano (azul) para la Tarifa 1A con precios de febrero del 2011.

En la gráfica 4.4 se muestran los precios promedios por kWh para verano (línea roja) y temporada fuera de verano (línea azul), los primeros 75 kWh tienen el mismo precio en ambas temporadas pero después es mayor el precio de la energía eléctrica en temporada fuera de verano. Al tener un consumo superior a los 300 kWh/mes el precio en ambas temporadas vuelve a ser igual ya que se entra a Tarifa DAC.



Gráfica 4.4 Precio promedio del kWh en base al consumo de energía eléctrica mensual para temporada de verano (rojo) y temporada fuera de verano (azul).

### 4.1.3 Tarifa doméstica 1B

Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 28 grados centígrados como mínimo.

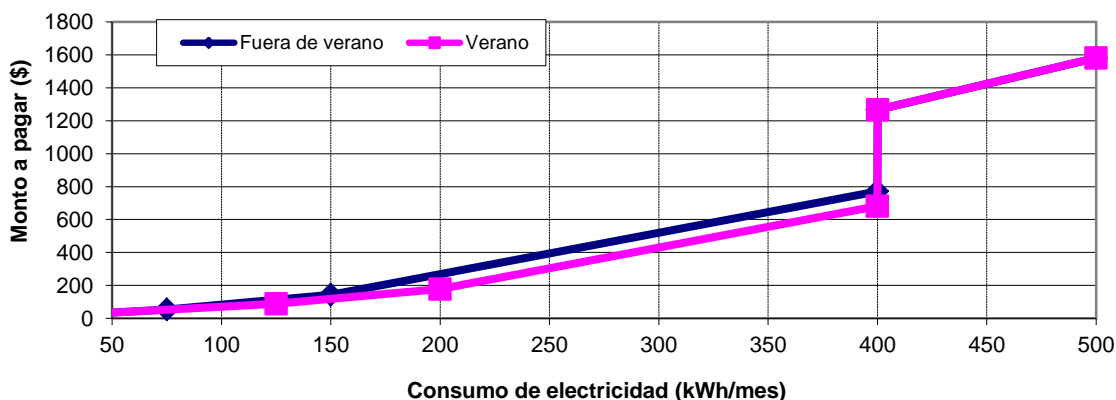
Tabla 4.5. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1B fuera de verano.

Cargos por energía consumida, para consumos hasta 175 kWh/mes		
Básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh
Intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 175 kWh/mes		
Básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh/mes
Intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 75 kWh
Excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

Tabla 4.6. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1B en verano.

Cargos por energía consumida, para consumos hasta 225 kWh/mes		
Básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 125 kWh
Intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 225 kWh/mes		
Básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 125 kWh/mes
Intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 75 kWh
Excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

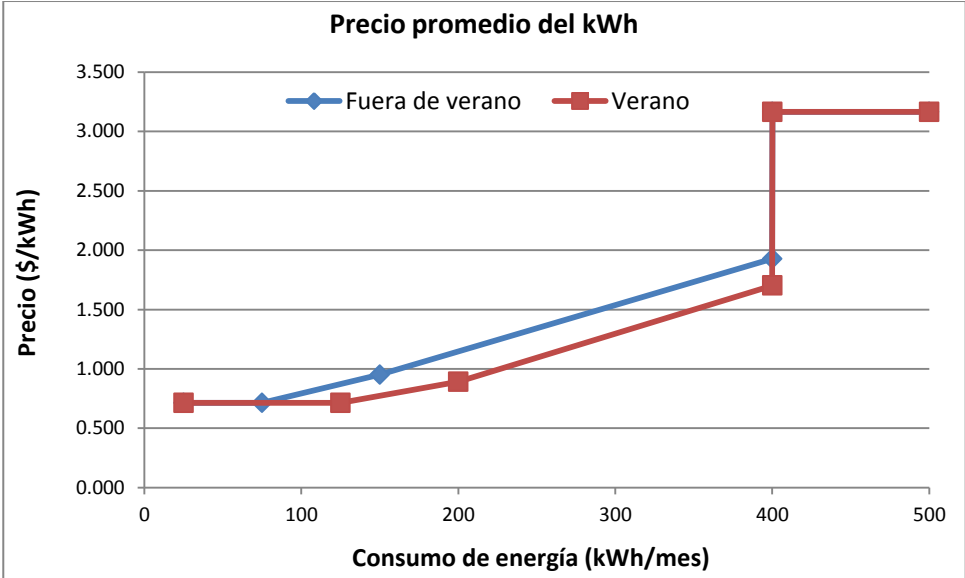
#### Tarifa 1B



Gráfica 4.5 Comparación del monto a pagar sin IVA por la energía eléctrica consumida durante un mes en verano (rosa) y fuera de verano (azul) para la Tarifa 1B con precios de febrero del 2011.

Al igual que en la Tarifa 1A los cargos por energía consumida son menores durante el verano pero para la Tarifa 1B se da un mayor límite de consumo máximo con 400 kWh/mes, al superar este consumo se entra en la Tarifa DAC la cual es mas cara como se puede apreciar en la gráfica 4.5.

En la gráfica 4.6 se muestra el precio por kWh en base al consumo mensual para la Tarifa 1B, se puede ver como el precio de la energía eléctrica aumenta a medida que aumenta el consumo mensual y que la energía eléctrica durante el verano (línea roja) es más barata.



Gráfica 4.6 Precio promedio del kWh en base al consumo de energía eléctrica mensual durante temporada de verano (rojo) y temporada fuera de verano (azul).

#### 4.1.4 Tarifa doméstica 1C

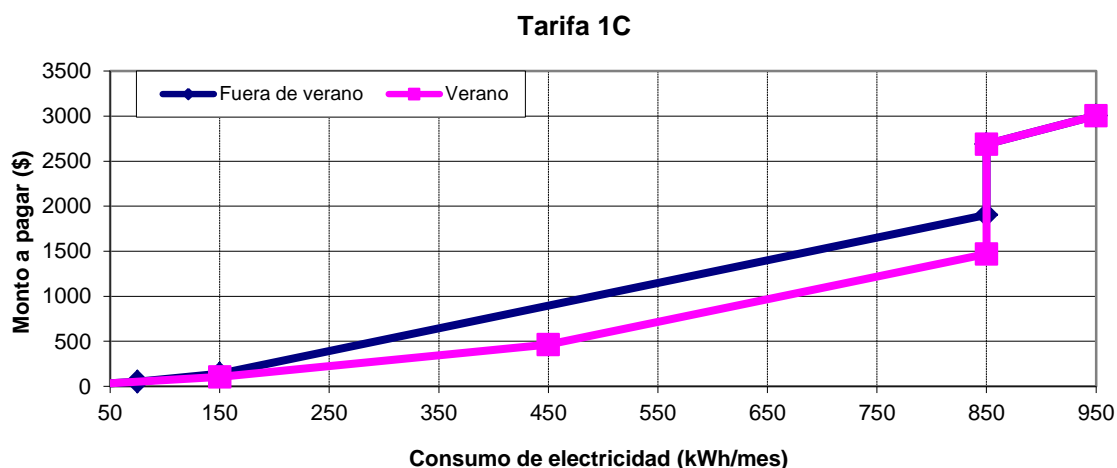
Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 30 grados centígrados como mínimo.

Tabla 4.7. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1C fuera de verano.

Cargos por energía consumida, para consumos hasta 175 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh
intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 175 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 75 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

Tabla 4.8. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1C en verano.

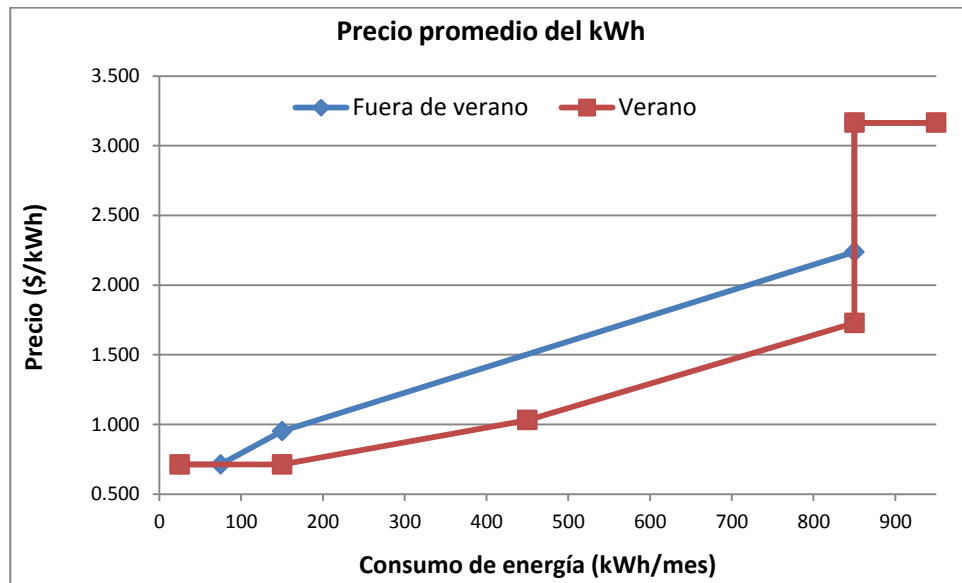
Cargos por energía consumida, para consumos hasta 300 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 150 kWh
intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 300 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 150 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 300 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.



Gráfica 4.7 Comparación del monto a pagar sin IVA por la energía eléctrica consumida durante un mes en verano (rosa) y fuera de verano (azul) para la Tarifa 1C con precios de febrero del 2011.

Para esta tarifa el límite máximo de consumo es de 850 kWh/mes, después de este consumo se entra en la Tarifa DAC como se muestra en la gráfica 4.7.

En la gráfica 4.8 se puede ver como el precio de la energía eléctrica es menor durante el verano a partir de consumos mayores de 75 kWh/mes y menores de 850 kWh/mes de energía eléctrica.



Gráfica 4.8 Precio promedio del kWh en base al consumo de energía eléctrica mensual en temporada de verano (rojo) y fuera de verano (azul).

### 4.1.5 Tarifa doméstica 1D

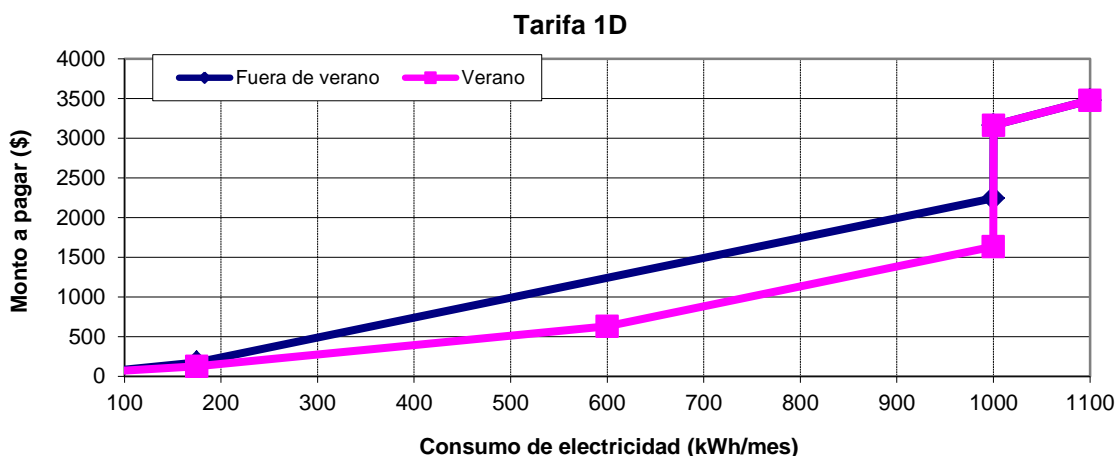
Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 31 grados centígrados como mínimo.

Tabla 4.9. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1D fuera de verano.

Cargos por energía consumida, para consumos hasta 200 kWh/mes		
Básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh
Intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 200 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 100 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

Tabla 4.10. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1D en verano.

Cargos por energía consumida, para consumos hasta 400 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 175 kWh
intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 400 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 175 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 425 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

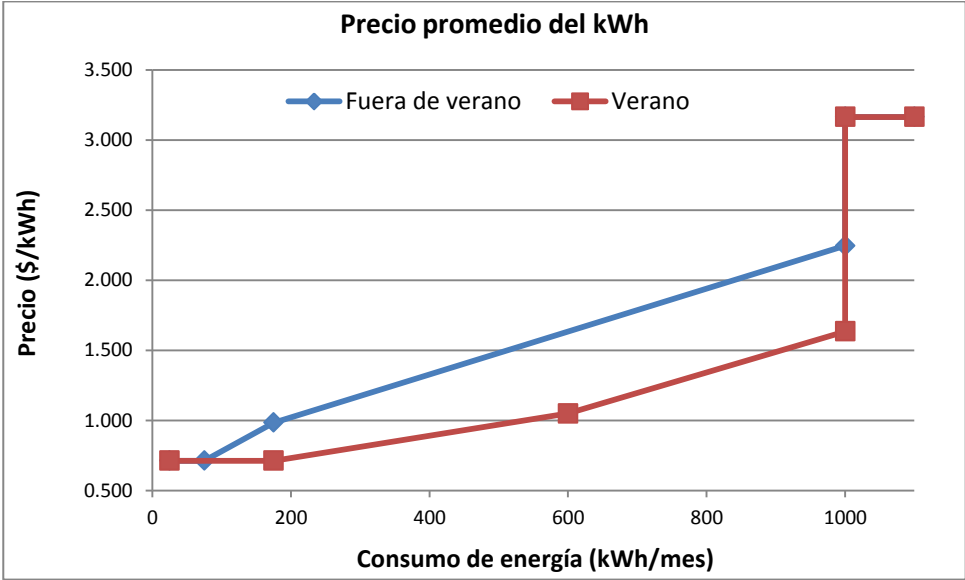


Gráfica 4.9 Comparación del monto a pagar sin IVA por la energía eléctrica consumida durante un mes en verano (rosa) y fuera de verano (azul) para la Tarifa 1D con precios de febrero del 2011.



Los cargos por energía consumida son menores durante el verano como se muestra en la gráfica 4.9 y el límite máximo de consumo es de 1000 kWh/mes, después de dicho consumo se entra en la Tarifa DAC.

Al igual que en las tarifas anteriores el precio de la energía eléctrica durante el verano es menor para la Tarifa 1D como se puede ver en la gráfica 4.10.



Gráfica 4.10 Precio promedio del kWh en base al consumo de energía eléctrica mensual para temporada de verano (rojo) y fuera de verano (azul).

#### 4.1.6 Tarifa doméstica 1E

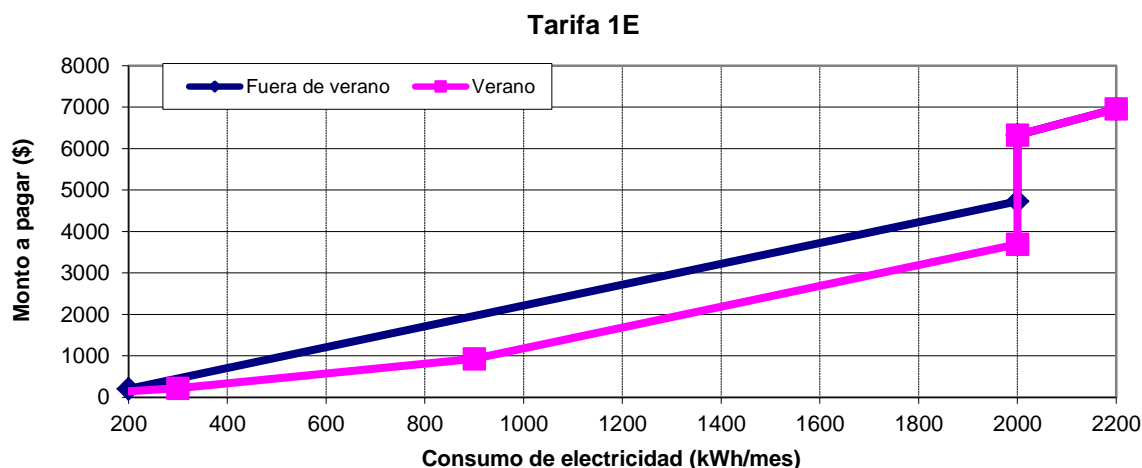
Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 32 grados centígrados como mínimo.

Tabla 4.11. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1E fuera de verano.

Cargos por energía consumida		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 125 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

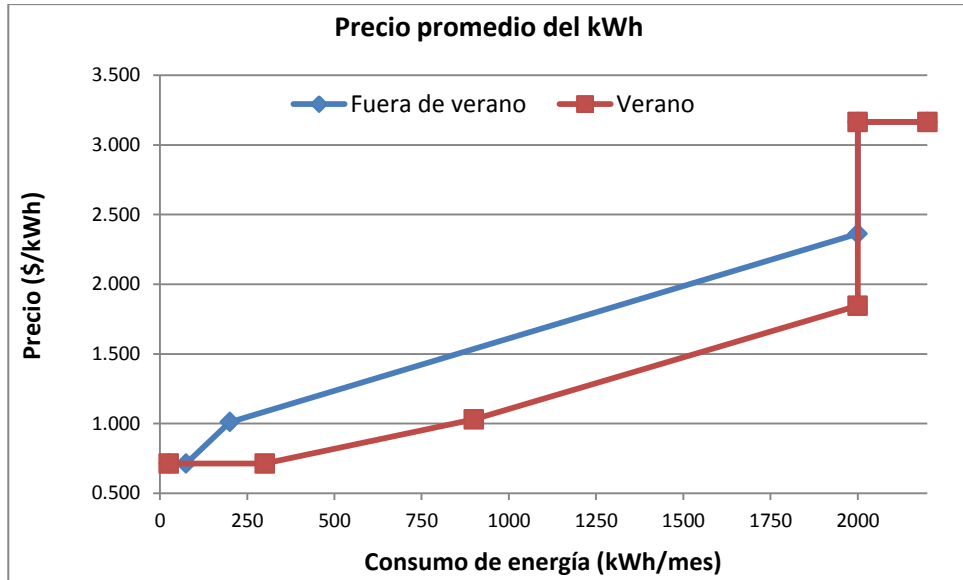
Tabla 4.12. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1E en verano.

Cargos por energía consumida, para consumos hasta 750 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 300 kWh
intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 750 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 300 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 600 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.



Gráfica 4.11 Comparación del monto a pagar sin IVA por la energía eléctrica consumida durante un mes en verano (rosa) y fuera de verano (azul) para la Tarifa 1E con precios de febrero del 2011.

Para la Tarifa 1E el límite máximo de consumo es de 2000 kWh/mes, al ser superado este consumo se entra en la Tarifa DAC y como se puede ver en la gráfica 4.11 los cargos por energía consumida en esta tarifa son menores durante el verano.



Gráfica 4.12 Precio promedio del kWh en base al consumo de energía eléctrica mensual.

En la gráfica 4.12 se muestran los precios de energía eléctrica en base al consumo mensual para la Tarifa 1E temporada de verano (rojo) y fuera de verano (azul), siendo más cara la energía eléctrica para esta última temporada.

#### 4.1.7 Tarifa doméstica 1F

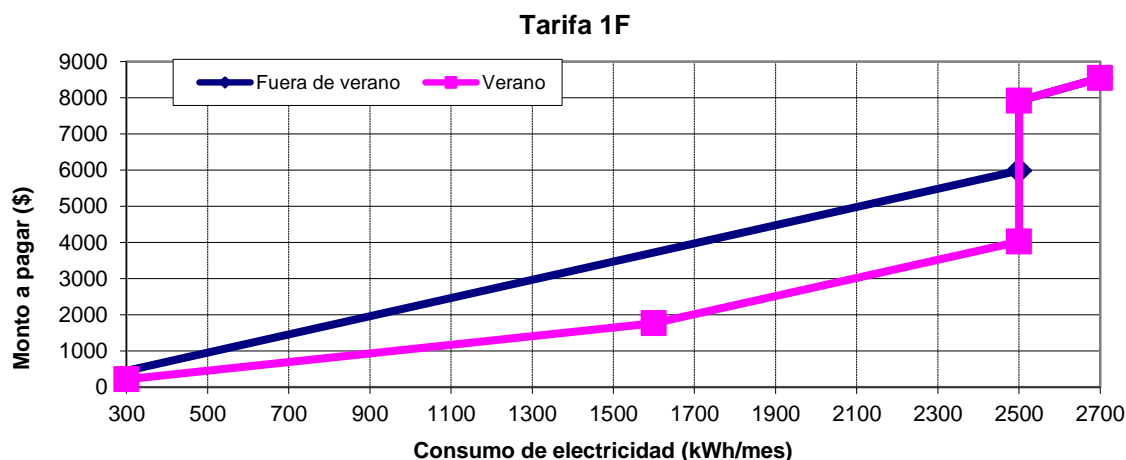
Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 33 grados centígrados como mínimo.

Tabla 4.13. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1F fuera de verano.

Cargos por energía consumida		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 75 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 125 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.

Tabla 4.14. Cargos por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 1F en verano.

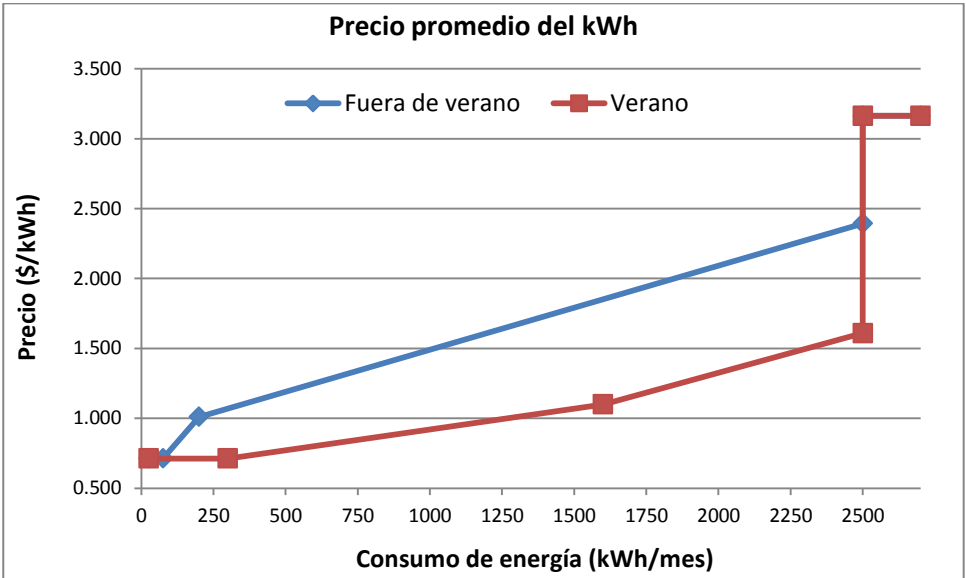
Cargos por energía consumida, para consumos hasta 1200 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 300 kWh
intermedio	\$ 0.858	por cada kWh adicional a los anteriores.
Cargos por energía consumida, para consumos mayores a 1200 kWh/mes		
básico	\$ 0.713	por cada uno de los primeros 300 kWh/mes
intermedio	\$ 1.189	por cada uno de los siguientes 1300 kWh
excedente	\$ 2.513	por cada kWh adicional a los anteriores.



Gráfica 4.13 Comparación del monto a pagar sin IVA por la energía eléctrica consumida durante un mes en verano (rosa) y fuera de verano (azul) para la Tarifa 1F con precios de febrero del 2011.

El límite máximo de consumo para esta tarifa es de 2500 kWh/mes y al igual que con el resto de las tarifas para el sector residencial al ser superado el límite máximo de consumo se entra en la Tarifa DAC. En la gráfica 4.13 se puede ver que los cargos por

energía consumida son menores durante el verano ya que para un mismo consumo de 2100 kWh/mes en verano se paga alrededor de \$3000 mientras que en temporada fuera de verano se paga alrededor de \$5000.



Gráfica 4.14 Precio promedio del kWh en base al consumo de energía eléctrica mensual para temporada de verano (rojo) y fuera de verano (azul).

Al igual que en las tarifas eléctricas anteriores para el sector residencial que tienen precios de energía eléctrica para temporada de verano y fuera de verano, la energía eléctrica es más barata durante el verano para esta tarifa.

A continuación se presentan las características de la Tarifa DAC y cuando se aplica.

#### 4.1.8 Tarifa DAC (Doméstica de Alto Consumo)

Esta tarifa se aplica a los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, considerada de alto consumo o que por las características del servicio así se requiera.

Se considera que un servicio es de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para su localidad, Tabla 14. El consumo mensual promedio registrado por el usuario se determinará con el promedio móvil del consumo durante los últimos 12 meses.

Cuando el Consumo Mensual Promedio del usuario sea superior al Límite de Alto Consumo se le reclasificará a la Tarifa Doméstica de Alto Consumo.

Cuando el usuario mantenga un Consumo Mensual Promedio inferior al Límite de Alto Consumo fijado para su localidad, el suministrador aplicará la Tarifa de Servicio Doméstico correspondiente.

Tabla 4.15. Consumo máximo mensual de energía y temperatura media mensual en verano para las tarifas residenciales.

Tarifa	Consumo máximo (kWh/mes)	Temperatura media mensual en verano (°C)
1	250	hasta 25
1A	300	>25
1B	400	>28
1C	850	>30
1D	1000	>31
1E	2000	>32
1F	2500	>33

Tabla 4.16. Cargo fijo y por energía consumida de enero del 2006 a enero del 2011 para la Tarifa DAC

Año	Cargo fijo (\$/mes)	Baja California		Baja California Sur		Zona			
		Verano (\$/kWh)	Fuera de verano (\$/kWh)	Verano (\$/kWh)	Fuera de verano (\$/kWh)	Central (\$/kWh)	Noroeste (\$/kWh)	Norte y noreste (\$/kWh)	Sur y peninsular (\$/kWh)
2006	55.08	2.314	1.993	2.523	1.993	2.382	2.228	2.170	2.208
2007	58.61	2.462	2.120	2.685	2.120	2.535	2.371	2.308	2.350
2008	61.65	2.659	2.290	2.900	2.290	2.738	2.562	2.494	2.538
2009	69.86	2.951	2.541	3.219	2.541	3.038	2.844	2.769	2.817
2010	69.55	3.032	2.608	3.305	2.608	3.121	2.922	2.845	2.892
2011	72.38	3.165	2.720	3.451	2.720	3.258	3.050	2.970	3.020

Tabla 4.17. Aumento anual del cargo fijo y por energía consumida del 2007 al 2011 para la Tarifa DAC.

Año	Cargo fijo (%)	Baja California		Baja California sur		Zona			
		Verano (%)	Fuera de verano (%)	Verano (%)	Fuera de verano (%)	Central (%)	Noroeste (%)	Norte y noreste (%)	Sur y peninsular (%)
2007	6.41	6.40	6.37	6.42	6.37	6.42	6.42	6.36	6.43
2008	5.19	8.00	8.02	8.01	8.02	8.01	8.06	8.06	8.00
2009	13.32	10.98	10.96	11.00	10.96	10.96	11.01	11.03	10.99
2010	-0.44	2.74	2.64	2.67	2.64	2.73	2.74	2.74	2.66
2011	4.07	4.39	4.29	4.42	4.29	4.39	4.38	4.39	4.43
<b>Promedio</b>	<b>5.71</b>	<b>6.50</b>	<b>6.46</b>	<b>6.50</b>	<b>6.46</b>	<b>6.50</b>	<b>6.52</b>	<b>6.52</b>	<b>6.50</b>

Al igual que en el resto de las tarifas eléctricas para el sector residencial la Tarifa DAC depende de la zona del país, en la Tabla 4.16 se presentan los cargos fijos y por kWh consumido para cada una de las zonas del país.

En la Tabla 4.17 se muestra el incremento de los cargos fijos y por kWh consumido para cada zona de enero del 2007 a enero del 2011. El aumento promedio anual de los cargos fijos es de 5.71% mientras que el aumento promedio del kWh es 6.50% anual para Baja California Norte y Sur en temporada de verano y 6.46% para temporada fuera de verano, para el resto del país el aumento promedio es de 6.51%.

La Tarifa DAC es la que presenta el mayor cargo por energía consumida en las tarifas residenciales además de contar con un cargo fijo mensual a diferencia del resto de las tarifas, por lo cual, es la tarifa eléctrica más cara.

A continuación se mencionan las tarifas que se aplican al sector comercial en México y las características de cada una.

## 4.2 Tarifas eléctricas para el sector comercial

### 4.2.1 Tarifa 2

Servicio general hasta 25 kW de demanda. Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda hasta de 25 kilowatts, excepto a los servicios para los cuales se fija específicamente su tarifa.

Tabla 4.18. Cargo fijo y por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 2.

Cargos por energía consumida		
	48.1	cargo fijo
básico	\$1.967	por cada uno de los primeros 50 kWh
intermedio	\$2.377	por cada uno de los siguientes 50 kWh
excedente	\$2.614	por cada kWh adicional a los anteriores

Tabla 4.19 Aumento anual del cargo fijo y por energía consumida del 2000 al 2011 para la Tarifa 2.

Año	Precio de la electricidad en enero (\$/kWh)				Aumento del cargo fijo y por energía consumida (%)			
	cargo fijo	básico	intermedio	excedente	cargo fijo	básico	intermedio	excedente
2000	23.71	0.924	1.120	1.234	---	---	---	---
2001	25.04	0.976	1.182	1.303	5.62	5.63	5.58	5.59
2002	24.34	0.948	1.149	1.266	-2.79	-2.87	-2.79	-2.84
2003	28.34	1.106	1.338	1.473	16.43	16.67	16.45	16.35
2004	31.22	1.219	1.473	1.623	10.16	10.22	10.09	10.18
2005	38.90	1.519	1.834	2.023	24.60	24.61	24.51	24.65
2006	41.52	1.621	1.957	2.158	6.74	6.71	6.71	6.67
2007	44.20	1.724	2.082	2.296	6.45	6.35	6.39	6.39
2008	45.25	1.812	2.190	2.414	2.38	5.10	5.19	5.14
2009	46.15	1.812	2.188	2.410	1.99	0.00	-0.09	-0.17
2010	45.94	1.861	2.248	2.473	-0.46	2.70	2.74	2.61
2011	47.82	1.942	2.346	2.580	4.09	4.35	4.36	4.33
<b>Promedio</b>	<b>36.87</b>	<b>1.455</b>	<b>1.759</b>	<b>1.938</b>	<b>6.84</b>	<b>7.23</b>	<b>7.19</b>	<b>7.17</b>

En la Tabla 4.19 se muestran los aumentos anuales promedio para la Tarifa 2, los cuales son: cargo fijo 7.23%, cargo por kWh de consumo básico 6.84%, el cargo por kWh de consumo intermedio 7.19% y finalmente el cargo por kWh de consumo excedente 7.17%.



### 4.2.2 Tarifa 3

Servicio general para más de 25 kW de demanda. Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda de más de 25 kilowatts, excepto a los servicios para los cuales se fija específicamente su tarifa.

Tabla 4.20. Cargos por demanda máxima medida y por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa 3.

Cargo por demanda máxima medida		Cargo adicional por energía consumida	
\$218.35	por cada kW de demanda máxima medida	\$1.469	por cada kWh

Tabla 4.21 Aumento anual de los cargos por demanda máxima medida y por energía consumida del 2000 al 2011 para la Tarifa 3.

Año	Cargo por demanda máxima (\$/kW)	Cargo por energía consumida (\$/kWh)	Aumento del cargo por demanda máxima medida (%)	Aumento del cargo por energía consumida (%)
2000	107.76	0.681	---	---
2001	113.77	0.719	5.58	5.58
2002	110.54	0.699	-2.84	-2.78
2003	128.73	0.811	16.46	16.02
2004	141.81	0.892	10.16	9.99
2005	176.68	1.111	24.59	24.55
2006	188.58	1.187	6.74	6.84
2007	200.67	1.264	6.41	6.49
2008	205.43	1.358	2.37	7.44
2009	209.5	1.319	1.98	-2.87
2010	208.58	1.384	-0.44	4.93
2011	217.07	1.442	4.07	4.19
<b>Promedio</b>	<b>167.43</b>	<b>1.072</b>	<b>6.82</b>	<b>7.31</b>

En la Tabla 4.21 se reportan los cargos por demanda máxima y consumo de energía de enero del 2000 a enero del 2011, el aumento anual promedio que se tiene en el cargo por demanda máxima medida es de 6.82% mientras que para el cargo por energía consumida es de 7.31%.

## Tarifa O-M

Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda menor a los 100 kW. Esta tarifa se aplica a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda menor a 100 kW.

Tabla 4.22. Cargos por demanda máxima medida y por energía consumida para febrero del 2011 para la Tarifa O-M.

Región	Cargo por kW de demanda máxima medida (\$/kW)	Cargo por kWh de energía consumida (\$/kWh)
Baja California	120.59	0.987
Baja California Sur	131.22	1.196
Central	150.59	1.201
Noreste	138.46	1.123
Noroeste	141.35	1.114
Norte	139.04	1.123
Peninsular	155.47	1.146
Sur	150.59	1.162
<b>Promedio</b>	<b>140.91</b>	<b>1.132</b>

Tabla 4.23. Cargos por demanda máxima medida y por energía consumida de enero del 2000 a enero del 2011 para la Tarifa O-M.

Año	Baja California		Baja California Sur		Central		Noreste	
	Cargo por demanda (\$/kW)	Cargo por energía (\$/kWh)	Cargo por demanda (\$/kW)	Cargo por energía (\$/kWh)	Cargo por demanda (\$/kW)	Cargo por energía (\$/kWh)	Cargo por demanda (\$/kW)	Cargo por energía (\$/kWh)
2000	48.134	0.367	52.36	0.447	60.08	0.449	55.23	0.415
2001	55.160	0.421	60.00	0.512	68.85	0.515	63.29	0.476
2002	51.290	0.392	55.79	0.476	64.02	0.479	58.86	0.444
2003	62.440	0.478	67.94	0.579	77.96	0.582	71.68	0.542
2004	69.240	0.53	75.34	0.641	86.45	0.645	79.48	0.601
2005	86.420	0.661	94.03	0.801	107.88	0.806	99.20	0.750
2006	95.610	0.732	104.03	0.886	119.37	0.891	109.75	0.830
2007	98.460	0.752	107.13	0.912	122.92	0.916	113.03	0.855
2008	102.120	0.823	111.13	0.999	127.52	1.004	117.24	0.937
2009	115.690	0.88	125.91	1.071	144.48	1.075	132.85	1.003
2010	115.200	0.929	125.35	1.127	143.85	1.131	132.27	1.057
2011	119.880	0.967	130.45	1.172	149.71	1.177	137.65	1.100

En la Tabla 4.23 se reportan los cargos por demanda máxima y energía eléctrica consumida para las diferentes regiones del país de enero del 2000 a enero del 2011.

Para Baja California los cargos por demanda aumentan en promedio 9.03% al año y los cargos kWh consumido tienen un aumento de 9.53%. Para Baja California Sur y la zona central el aumento anual por demanda máxima y por kWh consumido es de 9.03% y 9.48%

respectivamente. Para la zona noreste el aumento anual promedio en los cargos por demanda máxima es de 9.03% y 9.59% para el kWh consumido. La zona noroeste tiene un aumento promedio de 9.55% y 9.71% para los cargos por demanda máxima y kWh consumido respectivamente. Para la zona norte el aumento promedio anual por demanda máxima es de 9.03% y para el kWh consumido es de 9.52%. Para la zona peninsular el aumento promedio anual por demanda máxima es de 9.03% mientras que para el kWh consumido es de 8.96%. Finalmente para la zona sur el aumento promedio anual es de 9.03% y 9.53% para la demanda máxima y la energía consumida respectivamente.

Tabla 4.23. Cargos por demanda máxima medida y por energía consumida de enero del 2000 a enero del 2011 para la Tarifa O-M (continuación)

Año	Noroeste		Norte		Peninsular		Sur	
	Cargo por demanda (\$/kW)	Cargo por energía (\$/kWh)	Cargo por demanda (\$/kW)	Cargo por energía (\$/kWh)	Cargo por demanda (\$/kW)	Cargo por energía (\$/kWh)	Cargo por demanda (\$/kW)	Cargo por energía (\$/kWh)
2000	53.63	0.407	55.48	0.418	62.04	0.452	60.08	0.432
2001	61.46	0.467	63.57	0.480	71.10	0.518	68.85	0.496
2002	57.15	0.435	59.10	0.446	66.10	0.481	64.02	0.461
2003	69.58	0.531	71.96	0.543	80.48	0.584	77.96	0.561
2004	77.16	0.588	79.81	0.602	89.23	0.649	86.45	0.623
2005	96.30	0.734	99.59	0.751	111.35	0.810	107.88	0.778
2006	112.06	0.824	110.19	0.831	123.19	0.847	119.37	0.860
2007	115.38	0.848	113.47	0.855	126.86	0.873	122.92	0.886
2008	119.69	0.93	117.72	0.937	131.62	0.956	127.52	0.972
2009	135.61	0.996	133.38	1.003	149.15	1.024	144.48	1.039
2010	135.02	1.047	132.79	1.057	148.51	1.079	143.85	1.093
2011	140.52	1.091	138.22	1.100	154.56	1.123	149.71	1.138

Tabla 4.24. Aumento anual de los cargos por demanda máxima medida y por energía consumida del 2000 al 2011 para la Tarifa O-M.

Año	Baja California		Baja California Sur		Central		Noreste		Noroeste	
	Cargo por demanda (%)	Cargo por energía (%)	Cargo por demanda (%)	Cargo por energía (%)	Cargo por demanda (%)	Cargo por energía (%)	Cargo por demanda (%)	Cargo por energía (%)	Cargo por demanda (%)	Cargo por energía (%)
2000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2001	14.60	14.71	14.59	14.54	14.60	14.70	14.60	14.70	14.60	14.74
2002	-7.02	-6.89	-7.02	-7.03	-7.02	-6.99	-7.00	-6.72	-7.01	-6.85
2003	21.74	21.94	21.78	21.64	21.77	21.50	21.78	22.07	21.75	22.07
2004	10.89	10.88	10.89	10.71	10.89	10.82	10.88	10.89	10.89	10.73
2005	24.81	24.72	24.81	24.96	24.79	24.96	24.81	24.79	24.81	24.83
2006	10.63	10.74	10.63	10.61	10.65	10.55	10.64	10.67	16.37	12.26
2007	2.98	2.73	2.98	2.93	2.97	2.81	2.99	3.01	2.96	2.91
2008	3.72	9.44	3.73	9.54	3.74	9.61	3.72	9.59	3.74	9.67
2009	13.29	6.93	13.30	7.21	13.30	7.07	13.31	7.04	13.30	7.10
2010	-0.42	5.57	-0.44	5.23	-0.44	5.21	-0.44	5.38	-0.44	5.12
2011	4.06	4.09	4.07	3.99	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.20
<b>Promedio</b>	<b>9.03</b>	<b>9.53</b>	<b>9.03</b>	<b>9.48</b>	<b>9.03</b>	<b>9.48</b>	<b>9.03</b>	<b>9.59</b>	<b>9.55</b>	<b>9.71</b>

Tabla 4.24. Aumento anual de los cargos por demanda máxima medida y por energía consumida del 2000 al 2011 para la Tarifa O-M (continuación)

Año	Norte		Peninsular		Sur	
	Cargo por demanda (%)	Cargo por energía (%)	Cargo por demanda (%)	Cargo por energía (%)	Cargo por demanda (%)	Cargo por energía (%)
2000	---	---	---	---	---	---
2001	14.59	14.83	14.60	14.60	14.60	14.82
2002	-7.03	-7.08	-7.03	-7.14	-7.02	-7.06
2003	21.76	21.75	21.76	21.41	21.77	21.69
2004	10.91	10.87	10.87	11.13	10.89	11.05
2005	24.78	24.75	24.79	24.81	24.79	24.88
2006	10.64	10.65	10.63	4.57	10.65	10.54
2007	2.98	2.89	2.98	3.07	2.97	3.02
2008	3.75	9.59	3.75	9.51	3.74	9.71
2009	13.30	7.04	13.32	7.11	13.30	6.89
2010	-0.44	5.38	-0.43	5.37	-0.44	5.20
2011	4.09	4.07	4.07	4.08	4.07	4.12
<b>Promedio</b>	<b>9.03</b>	<b>9.52</b>	<b>9.03</b>	<b>8.96</b>	<b>9.03</b>	<b>9.53</b>

Las tarifas eléctricas para el sector comercial son las reportan un mayor aumento anual en los cargos fijos y por consumo de energía eléctrica, siendo la Tarifa O-M la que mayor aumento presenta entre las tres tarifas comerciales.

# Capítulo 5. Análisis de la rentabilidad de producir energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos

---

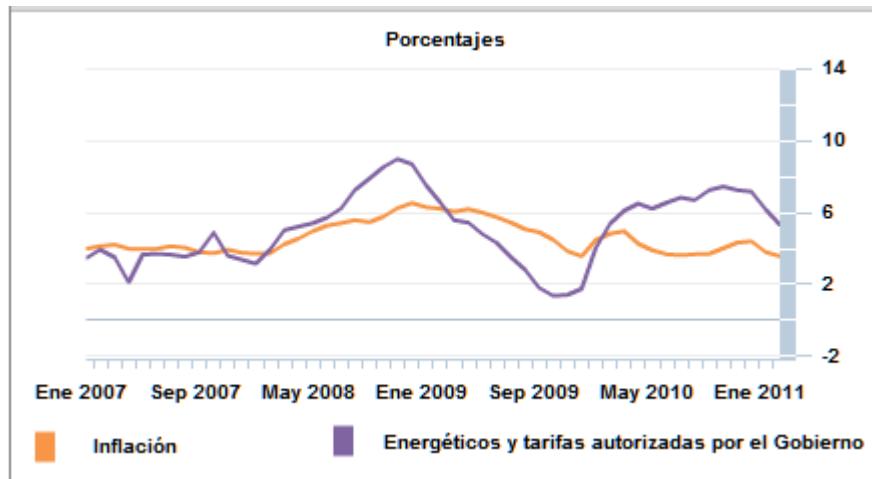
Durante el presente capítulo se analiza la rentabilidad económica de producir energía eléctrica mediante el empleo de paneles fotovoltaicos en las tarifas domésticas y para las tarifas eléctricas 2, 3 y O-M.

Como se muestra en el capítulo 3, el “Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala” aplica el régimen de medición neta, es decir, en caso de haber en algún momento excedentes de energía eléctrica proveniente de la fuente renovable es posible intercambiar energía con la CFE, compensándola con el consumo en otro momento. Por lo tanto el uso de baterías no es indispensable y se prescinde de éstas en los análisis ya que elevan en gran medida la inversión inicial.

Para los siguientes análisis se considera que producir energía eléctrica con fuentes renovables de energía es rentable económicamente si se obtiene una tasa interna de rendimiento (TIR) superior a 6%, se considera así ya que es un poco más elevada que la tasa de interés que ofrecen la mayoría de los bancos en México a sus clientes. Otra razón por la cual se elige esta tasa es debido a que la inflación a partir de enero del 2007 a enero del 2011 ha sido de 5.5% anual aproximadamente como se puede ver en la figura 5.1, como también se puede ver que la inflación para los energéticos y las tarifas autorizadas por el gobierno de enero del 2010 a febrero del 2011 ha sido de casi 7%.

Todos los proyectos son evaluados a 25 años ya que ésta es la vida útil de los paneles solares, la vida útil de los inversores es de 15 años por lo cual se necesitan dos a lo largo del proyecto y su eficiencia es de 90%.

**Figura 5.1 Inflación en general y de energéticos en México de enero del 2007 a febrero del 2011.**



Fuente: Banco de México (Banxico)

## 5.1 Residencial

Al llevar a cabo las simulaciones en Homer, es importante la curva de demanda de energía que se tiene para aquellas tarifas en las cuales se cobran cargos por demanda máxima y la energía no tiene el mismo precio durante el transcurso del día, sin embargo, para todas las tarifas domésticas la energía eléctrica tiene el mismo precio durante el transcurso del día y no existe un cargo por demanda máxima, por lo tanto la curva de demanda de energía no es importante para este análisis.

En las tarifas eléctricas para el sector comercial se considera el consumo de energía y en algunas la temporada del año en la cual se consume. En aquellas tarifas que se ven afectadas por la temporada del año, verano y no verano, se considera la tarifa de verano ya que es donde existe el mayor consumo de energía debido a las necesidades de confort térmico que tienen los hogares, además de contar con un subsidio mayor, con esto se busca no beneficiar el estudio a favor de las fuentes renovables.

A continuación se presenta el análisis de la rentabilidad económica que se tiene al colocar paneles solares interconectados a la red eléctrica en el sector residencial para producir energía eléctrica. No se ha considerado el uso de baterías ya que las leyes en México (Capítulo 3) permiten intercambiar energía con la red eléctrica, por lo cual el uso de baterías no es necesario y de considerarlas sólo aumentaría el precio del proyecto.

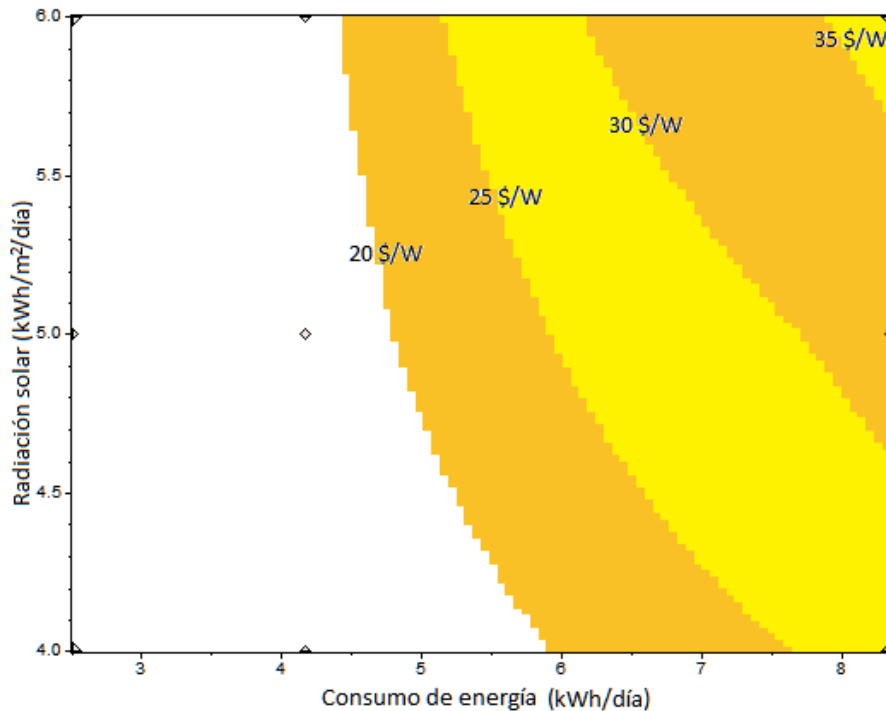
### 5.1.1 Tarifa 1

En el capítulo anterior se presentaron las diferentes características de las tarifas eléctricas para el sector residencial, la Tarifa 1 es la tarifa eléctrica doméstica que permite el menor consumo mensual antes de entrar a Tarifa DAC.

En la gráfica 5.1 se muestra el máximo precio del arreglo de paneles solares para el cual es rentable su utilización. Como se puede ver la rentabilidad económica del proyecto depende de la radiación solar que se tiene, del consumo de energía eléctrica en la casa habitación y del precio del arreglo de paneles fotovoltaicos.

A medida que se tiene una mayor radiación solar se puede tener un mayor precio del arreglo para el cual es rentable el proyecto, es decir, con una mayor radiación solar se tiene una mayor rentabilidad económica. Considerando que el precio del arreglo es de 25 \$/W (pesos mexicanos sobre watt), el proyecto comienza a ser rentable con consumos mayores de energía eléctrica, en la casa habitación, de 7.5 kWh/día para una radiación solar de 4 kWh/m<sup>2</sup>/día; con el mismo precio del arreglo pero con una radiación solar de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día el consumo mínimo de energía eléctrica para que sea rentable el proyecto es de 5.5 kWh/día. Es importante recordar que el precio de la energía eléctrica en esta tarifa depende del nivel de consumo, por lo tanto, para un mayor consumo de energía se tiene un mayor precio por kWh.

Gráfica 5.1 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en casas habitación con Tarifa 1.





El precio máximo del arreglo para el cual es aun rentable el proyecto es de 35 \$/W con una radiación solar de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo de energía mayor a los 8 kWh/día.

Ejemplo 1. Considerando un precio de 52 \$/W por el arreglo, una radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo promedio de 8 kWh/día en una casa habitación se calcula la rentabilidad económica de la instalación de 1 kW de paneles fotovoltaicos y un inversor de 0.5 kW, sus precios son de \$30,160.00 y \$10,920.00 respectivamente por lo cual el precio total del arreglo es de \$41,080.00. La energía eléctrica neta tomada de la red eléctrica con el arreglo de paneles solares es de 4.64 kWh/día por lo tanto se tiene:

Tabla 5.1 Monto a pagar por el consumo mensual de energía eléctrica con y sin paneles fotovoltaicos.

Concepto		Sin PV	Con PV
consumo de energía (kWh/día)		8	4.64
consumo de energía (kWh/mes)		240	139.2
Precio (\$/kWh)		Monto (\$)	
0.713	primeros 75 kWh	53.48	53.48
1.189	siguientes 50 kWh	59.45	59.45
2.513	excedente	288.99	35.69
total		401.92	148.62

En la Tabla 5.1 se muestra el monto mensual a pagar por el consumo mensual de energía eléctrica en una casa habitación con y sin paneles fotovoltaicos, el ahorro económico que se tiene con los paneles fotovoltaicos es de \$253.30/mes, es decir, \$3,039.60/año.

$$\text{Periodo de recuperación} = \text{inversión/ahorro} \quad (1)$$

sustituyendo valores en la ecuación (1) se tiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\$41,080.00}{\$3,039.60/\text{año}} = 13.51 \text{ años}$$

El periodo de recuperación es de trece años y medio, a continuación se calcula la TIR.

$$TIR = 4\%$$

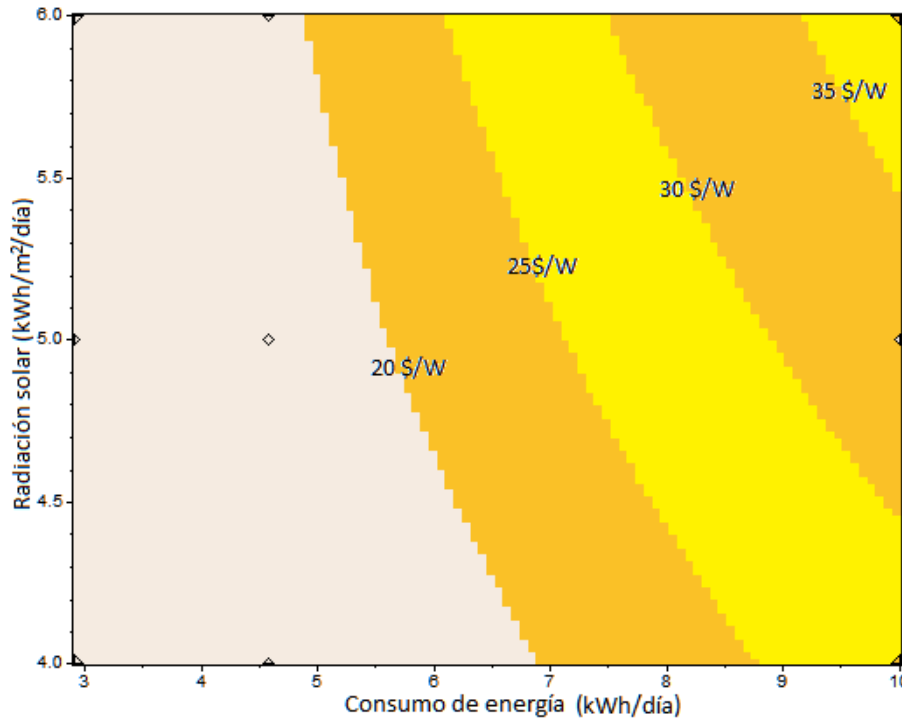
El valor de la TIR es de 4% por lo cual el proyecto no es rentable.

### 5.1.2 Tarifa 1A

En la gráfica 5.2 se muestran las combinaciones de precios del arreglo, radiación solar y consumo de energía, para las cuales es rentable la producción de energía eléctrica en una casa habitación con Tarifa 1A. Los niveles de consumo de electricidad deben de ser mayores en comparación con la Tarifa 1 para que sea rentable la instalación de los paneles solares, esto es debido a que la Tarifa 1A cuenta con un mayor subsidio y por lo tanto es más barata la energía eléctrica.

A medida que aumenta el consumo de energía y la radiación solar los precios máximos del arreglo pueden ser mayores, por lo tanto la rentabilidad económica del proyecto crece a medida que aumenta el consumo de energía y la radiación solar.

Gráfica 5.2 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en casas habitación con Tarifa 1A.



Ejemplo 2. Considerando un precio de 52 \$/W por el arreglo, una radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo promedio de 9.5 kWh/día en una casa habitación se calcula la rentabilidad económica de la instalación de 1.25 kW de paneles fotovoltaicos y un inversor de 0.75 kW, sus precios son de \$37,770 y \$16,380 respectivamente por lo cual el precio total del arreglo es de \$54,080. Con ayuda de Homer se calcula la energía eléctrica neta tomada de la red eléctrica con el arreglo de paneles solares durante el verano, la cual es de 5 kWh/día, lo tanto se tiene:

Tabla 5.2 Monto a pagar por el consumo mensual de energía eléctrica con y sin paneles fotovoltaicos.

Concepto		Sin PV	Con PV
consumo de energía (kWh/día)		9.5	5
consumo de energía (kWh/mes)		285	150
Precio (\$/kWh)		Monto (\$)	
0.713	primeros 100 kWh	71.30	71.30
1.189	siguientes 50 kWh	59.45	59.45
2.513	excedente	339.26	0.00
total		470.01	130.75

En la Tabla 5.2 se muestra el monto mensual a pagar por el consumo de energía eléctrica en una casa habitación con y sin paneles fotovoltaicos, el ahorro económico que se tiene con los paneles fotovoltaicos es de \$339.26/mes, es decir, \$4,071.12/año con estos datos y la ecuación (1) se procede a calcular el periodo de recuperación.

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\$54,080.00}{\$4,071.12/\text{año}} = 13.28 \text{ años}$$

así el valor de la TIR es de:

$$TIR = 4\%$$

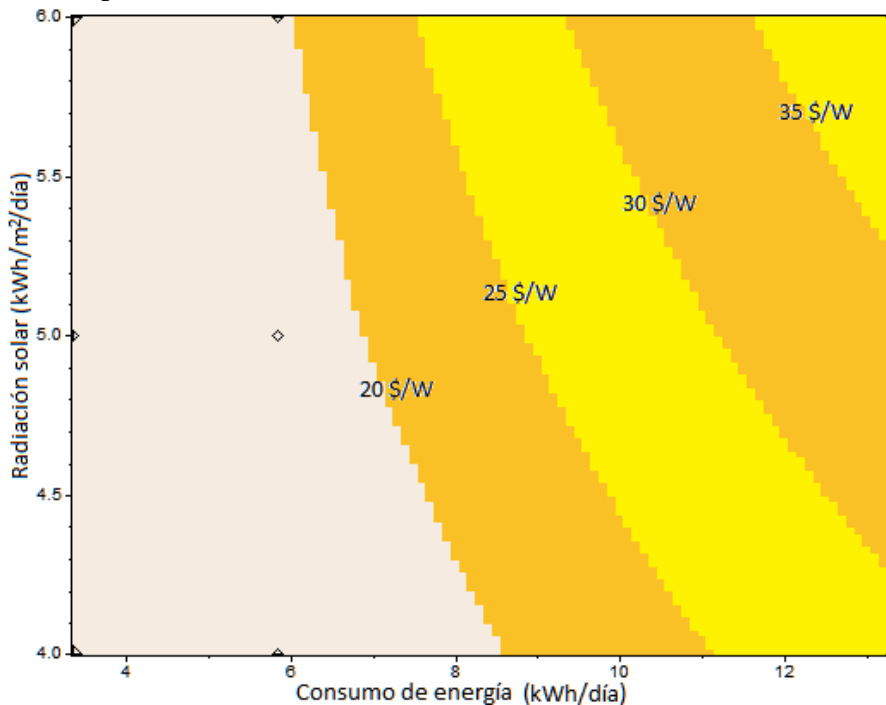
Para este caso la TIR es menor que 6% por lo tanto el proyecto no es rentable.

### 5.1.3 Tarifa 1B

Al igual que en las tarifas anteriores en esta tarifa eléctrica la rentabilidad de producir energía eléctrica con paneles fotovoltaicos aumenta a medida que crece la radiación solar y el consumo de energía.

El precio máximo del arreglo para el cual es aun rentable el proyecto es de 35 \$/W para una radiación solar mayor a 5.3 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo de 13.33 kWh/día o con el mismo precio del arreglo un consumo de 12 kWh/día y una radiación solar de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día como se muestra en la gráfica 5.3.

Gráfica 5.3 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en casas habitación con Tarifa 1B.



Ejemplo 3. Considerando un precio de 52 \$/W por el arreglo, una radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo promedio de 12.5 kWh/día en una casa habitación, se calcula la rentabilidad económica de la instalación de 2.25 kW de paneles fotovoltaicos y un inversor de 1.25 kW, sus precios son de \$67,860 y \$27,300 respectivamente por lo cual el precio total del arreglo es de \$95,160. La energía eléctrica neta tomada durante el verano de la red eléctrica con el arreglo de paneles solares es de 4.54 kWh/día, según la simulación llevada a cabo en Homer, por lo tanto se tiene:

Tabla 5.3 Monto a pagar por el consumo mensual de energía eléctrica con y sin paneles fotovoltaicos.

Concepto		Sin PV	Con PV
consumo de energía (kWh/día)		12.5	4.54
consumo de energía (kWh/mes)		375	136.20
Precio (\$/kWh)		Monto (\$)	
0.713	primeros 125 kWh	89.13	89.13
1.189	siguientes 75 kWh	89.18	13.18
2.513	excedente	439.77	0.000
total		618.08	102.31

En la Tabla 5.3 se muestra el monto mensual a pagar por el consumo de energía eléctrica en una casa habitación con y sin paneles fotovoltaicos, el ahorro económico que se tiene con los paneles fotovoltaicos es de \$515.77/mes, es decir, \$6,189.24/año.

Sustituyendo valores en la ecuación (1) se tiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\$67,860.00}{\$6,189.24/\text{año}} = 10.96 \text{ años}$$

calculando la TIR se obtiene:

$$TIR = 6\%$$

La TIR es igual a 6% por lo cual no es aun rentable.

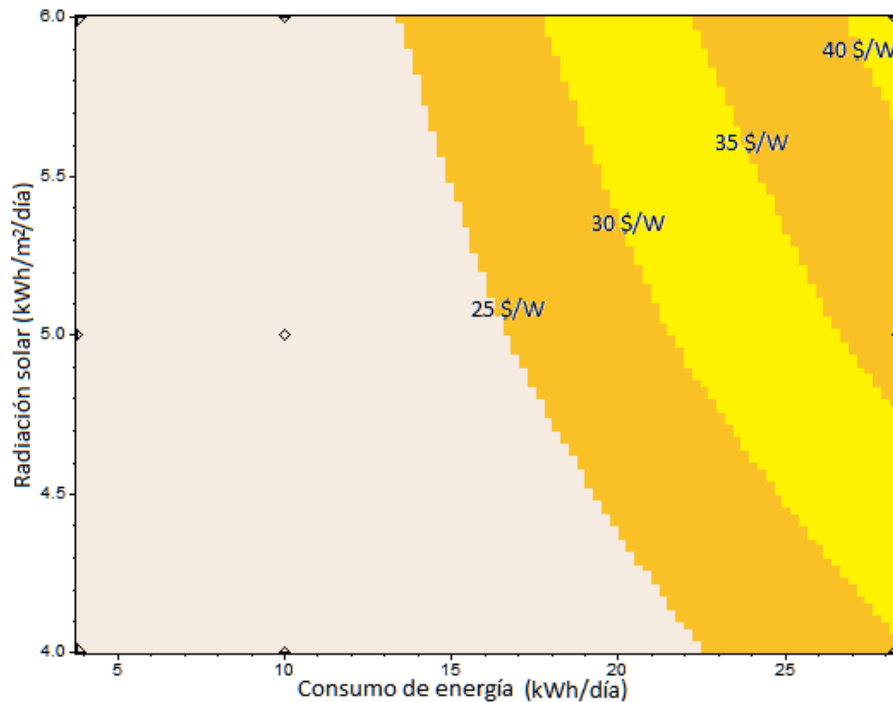
### 5.1.4 Tarifa 1C

Para la Tarifa 1C el precio máximo del arreglo, para el cual es aun rentable la producción de energía eléctrica en una casa habitación, es de 40 \$/W que es más alto que en las tres tarifas anteriores.

Como se puede ver en la gráfica 5.4 a medida que aumenta la radiación solar el precio máximo del arreglo puede ser mayor, lo mismo ocurre cuando aumenta el consumo de energía eléctrica.

Esta tarifa eléctrica cuenta con un mayor subsidio, en comparación con las tres tarifas anteriores y por lo tanto se necesita tener mayores consumos de energía para que sea rentable económicamente la producción de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

Gráfica 5.4 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en casas habitación con Tarifa 1C.



Ejemplo 4. Considerando un precio de 52 \$/W por el arreglo, una radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo promedio de 25 kWh/día en una casa habitación se calcula la rentabilidad económica de la instalación de 5.5 kW de paneles fotovoltaicos y un inversor de 3.25 kW, sus precios son de \$165,880.00 y \$70,980.00 respectivamente por lo cual el precio total del arreglo es de \$236,860.00. Con ayuda de Homer se calcula la energía eléctrica neta tomada de la red eléctrica con el arreglo de paneles solares, la cual es de 5.08 kWh/día durante el verano, por lo tanto se tiene:

Tabla 5.4 Monto a pagar por el consumo mensual de energía eléctrica con y sin paneles fotovoltaicos.

Concepto		Sin PV	Con PV
consumo de energía (kWh/día)		25	5.08
consumo de energía (kWh/mes)		750	152.40
Precio (\$/kWh)		Monto (\$)	
0.713	primeros 150 kWh	106.95	106.95
1.189	siguientes 300 kWh	356.70	2.85
2.513	excedente	753.90	0.00
total		1,217.55	109.80

En la Tabla 5.4 se muestra el monto mensual a pagar por el consumo de energía eléctrica en una casa habitación con y sin paneles fotovoltaicos, el ahorro económico que se tiene con los paneles fotovoltaicos es de \$1,107.75/mes, es decir, \$13,293.00/año.

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\$236,860.00}{\$13,293.00/\text{año}} = 17.82 \text{ años}$$

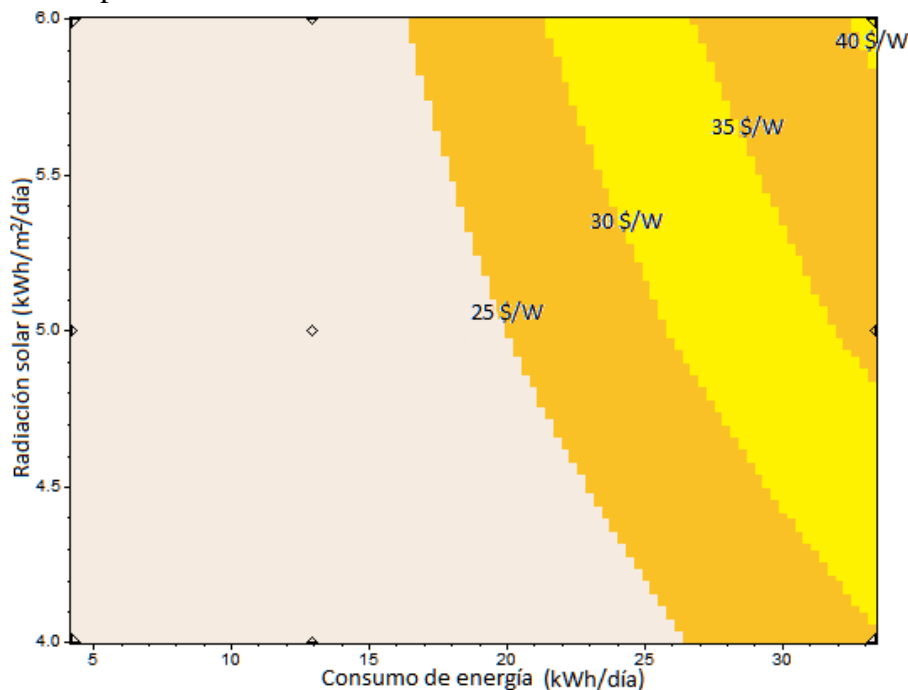
$$TIR = 1\%$$

#### 4.1.5 Tarifa 1D

En la gráfica 5.5 se muestran los precios máximos que debe de tener el arreglo de paneles solares para que sea rentable económicamente su utilización en una casa habitación con tarifa eléctrica 1D. El precio máximo para esta tarifa es de 40 \$/W siempre y cuando se tenga un consumo de 33 kWh/día y una radiación solar de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día.

Con los precios actuales, que se tienen en México, de los arreglos de paneles fotovoltaicos, en esta tarifa eléctrica no es rentable el proyecto a menos que quienes lo lleven a cabo sean contribuyentes del Impuesto Sobre la Renta como se muestra en el siguiente ejemplo.

Gráfica 5.5 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en casas habitación con Tarifa 1D.



Ejemplo 5. Considerando un precio de 52 \$/W por el arreglo, una radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo promedio de 30 kWh/día en una casa habitación se calcula la rentabilidad económica de la instalación de 6.5 kW de paneles fotovoltaicos y un inversor de 4 kW, sus precios son de \$196,040 y \$87,360 respectivamente por lo cual el precio total del arreglo es de \$283,400. La energía eléctrica neta tomada de la red eléctrica con el arreglo de paneles solares es de 6.20 kWh/día durante el verano, según la simulación realizada en Homer.



Tabla 5.5 Monto a pagar por el consumo mensual de energía eléctrica con y sin paneles fotovoltaicos.

Concepto		Sin PV	Con PV
consumo de energía (kWh/día)		30	6.20
consumo de energía (kWh/mes)		900	186
Precio (\$/kWh)		Monto (\$)	
0.713	primeros 175 kWh	124.78	124.78
1.189	siguientes 425 kWh	505.32	13.08
2.513	excedente	753.90	0.000
total		1,384.00	137.86

En la Tabla 5.5 se muestra el monto mensual a pagar por el consumo de energía eléctrica en una casa habitación con y sin paneles fotovoltaicos, el ahorro económico que se tiene con los paneles fotovoltaicos es de \$1,246.14/mes, es decir, \$14,953.68/año. Así con lo valoren anteriores y con la ecuación (1) se calcula el periodo de recuperación y posteriormente la TIR.

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\$283,400.00}{\$14,953.68} = 18.95 \text{ años}$$

$$TIR = 0\%$$

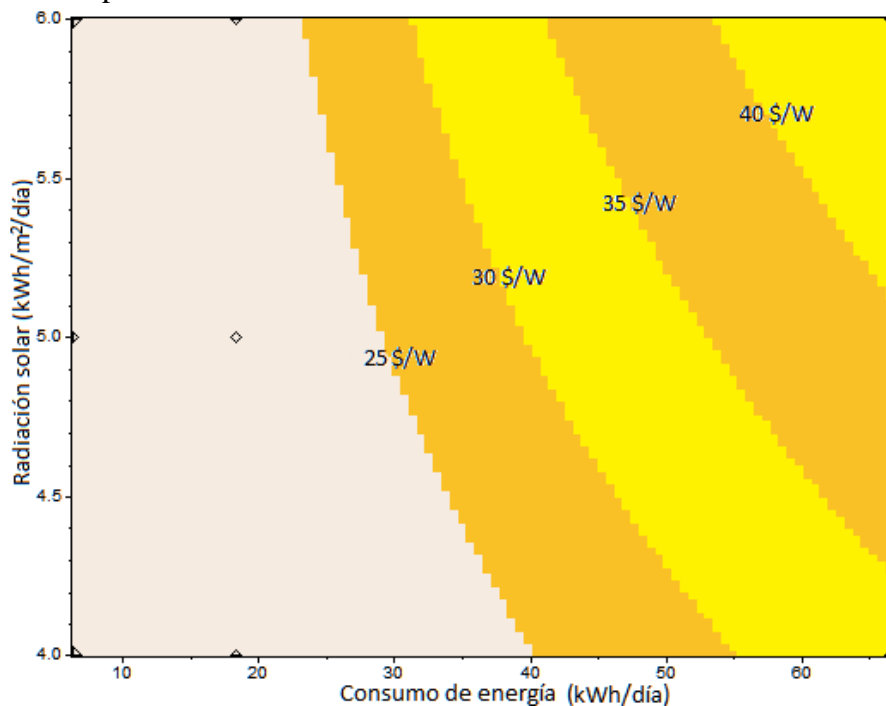
Con un consumo de 30 kWh/día y una radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día precio por el sistema de paneles solares no puede ser mayor a los 34 \$/W como se puede ver en la gráfica 5.5, por lo tanto se esperaba que la TIR fuera menor a 6%.

### 5.1.6 Tarifa 1E

En la gráfica 5.6 se puede ver que cuando se tiene un precio del arreglo de 25 \$/W y una radiación solar de 4 kWh/m<sup>2</sup>/día el consumo de energía debe de ser de 40 kWh/día para que sea rentable el proyecto, sin embargo, si crece la radiación solar a 6 kWh/m<sup>2</sup>/día el consumo necesario baja a poco menos de 30 kWh/día. De igual manera para un consumo promedio de 50 kWh/día y una radiación solar de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día el precio máximo que se puede pagar por el arreglo para que este sea aun rentable es de 30 \$/W pero si aumenta la radiación solar a 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/día el precio máximo que se puede pagar crece a 35 \$/W.

Sin embargo los niveles de radiación con los que cuenta México y el precio de la energía eléctrica en la Tarifa 1E no son suficientemente altos para que sea rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en una casa habitación a menos que quienes lo lleven a cabo sean contribuyentes del ISR como se muestra en el siguiente ejemplo.

Gráfica 5.6 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en casas habitación con Tarifa 1E.



Ejemplo 6. Considerando un precio de 52 \$/W por el arreglo, una radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo promedio de 65 kWh/día en una casa habitación, se calcula la rentabilidad económica de la instalación de 10 kW de paneles fotovoltaicos y un inversor de 6 kW, sus precios son de \$301,600 y \$131,040 respectivamente por lo cual el precio total del arreglo es de \$432,640. La energía eléctrica neta tomada de la red eléctrica durante

el verano, según la simulación llevada a cabo en Homer, con el arreglo de paneles solares es de 28.89 kWh/día.

Tabla 5.6 Monto a pagar por el consumo mensual de energía eléctrica con y sin paneles fotovoltaicos.

Concepto		Sin PV	Con PV
consumo de energía (kWh/día)		60	28.89
consumo de energía (kWh/mes)		1800	866.7
Precio (\$/kWh)		Monto (\$)	
0.713	primeros 300 kWh	213.90	213.90
1.189	siguientes 600 kWh	713.40	673.81
2.513	excedente	2,261.00	0.000
total		3,189.00	887.71

En la Tabla 5.6 se muestra el monto mensual a pagar por el consumo de energía eléctrica en una casa habitación con y sin paneles fotovoltaicos, el ahorro económico que se tiene con los paneles fotovoltaicos es de \$2,301.29/mes, es decir, \$27,615.52/año.

Utilizando la ecuación (1) y sustituyendo valores se obtiene que el periodo de recuperación es de:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\$432,640.00}{\$27,615.52} = 15.67 \text{ años}$$

la TIR es de:

$$TIR = 2\%$$

Al analizar la gráfica 5.6 se sabe que el proyecto no es rentable, ya que bajo las condiciones establecidas el máximo precio del arreglo para que sea rentable el proyecto es de aproximadamente 38 \$/W.

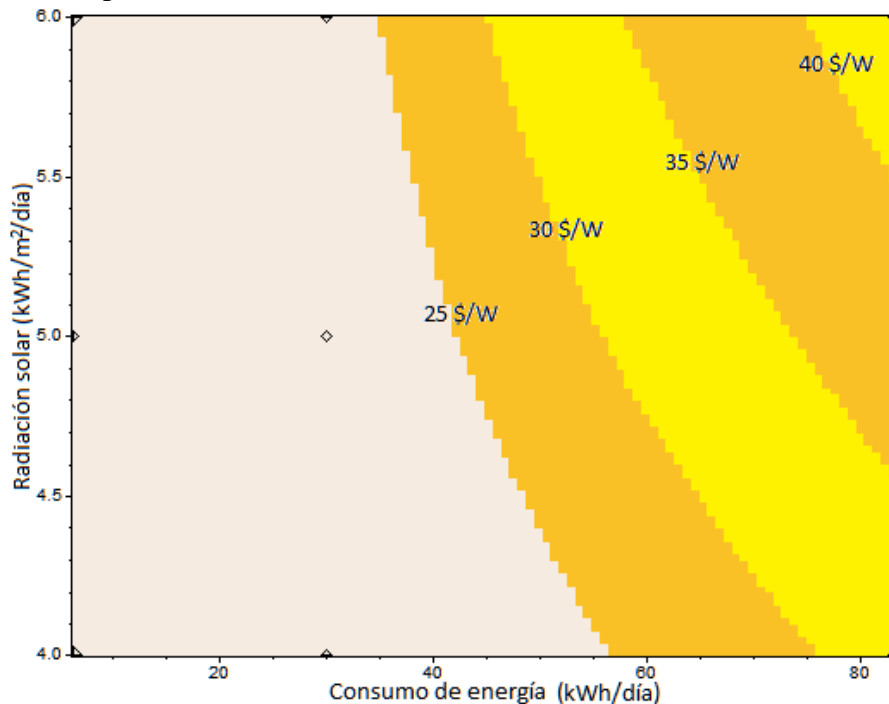
### 5.1.7 Tarifa 1F

El precio máximo para el cual es rentable de instalación de paneles fotovoltaicos en una casa habitación que cuenta con tarifa eléctrica 1F es de 40 \$/W y al igual que son el resto de las tarifas eléctricas para el sector comercial que cuentan con subsidio por parte del gobierno la rentabilidad del proyecto aumenta a medida que crece la radiación solar en la zona y el consumo de energía que se tiene en la casa habitación.

Esta es la tarifa eléctrica doméstica con mayor subsidio, por lo tanto el consumo de energía eléctrica debe de ser mayor que en las anteriores tarifas eléctricas para que sea rentable la instalación del arreglo.

Al igual que en el resto de las tarifas eléctricas para el sector comercial que cuentan con subsidio en esta tarifa no es rentable la colocación de paneles fotovoltaicos a menos que quien lo haga sea contribuyente del ISR, esto se muestra en el ejemplo siguiente.

Gráfica 5.7 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en casas habitación con Tarifa 1F.



Ejemplo 7. Considerando un precio de 52 \$/W por el arreglo, una radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo promedio de 65 kWh/día en una casa habitación se calcula la rentabilidad económica de la instalación de 10 kW de paneles fotovoltaicos y un inversor de 6 kW, sus precios son de \$301,600.00 y \$131,040.00 respectivamente por lo cual el precio total del arreglo es de \$432,640.00. La energía eléctrica neta tomada de la red

eléctrica durante el verano con el arreglo de paneles solares es de 44.10 kWh/día, según la simulación llevada a cabo con Homer.

Tabla 5.7 Monto a pagar por el consumo mensual de energía eléctrica con y sin paneles fotovoltaicos.

Concepto		Sin PV	Con PV
consumo de energía (kWh/día)		80	44.10
consumo de energía (kWh/mes)		2400	1323
Precio (\$/kWh)		Monto (\$)	
0.713	primeros 300 kWh	213.90	213.90
1.189	siguientes 1300 kWh	1,545.70	1,216.35
2.513	excedente	2,010.40	0.00
total		3,770.00	1,430.25

En la Tabla 5.7 se muestra el monto mensual a pagar por el consumo de energía eléctrica en una casa habitación con y sin paneles fotovoltaicos, el ahorro económico que se tiene con los paneles fotovoltaicos es de \$2,339.75/mes, es decir, \$28,077.00/año, por lo tanto sustituyendo valores en la ecuación (1) se tiene:

$$\text{Periodo de recuperaci3n} = \frac{\$432,640.00}{\$28,077.00} = 15.4 \text{ a\u00f1os}$$

la TIR en este caso es de:

$$TIR = 2\%$$

Bajo estas condiciones no es rentable econ3micamente la instalaci3n de paneles fotovoltaicos ya que la TIR es de 2%.

Al igual que con las tarifas el3ctricas 1, 1A, 1B, 1C, 1D Y 1E en la tarifa el3ctrica 1F no es rentable la instalaci3n de paneles fotovoltaicos con los precios actuales que se tienen.

A continuaci3n se analiza la rentabilidad econ3mica de la instalaci3n de paneles fotovoltaicos para las casas habitaci3n que cuentan con tarifa el3ctrica DAC la cual no cuenta con subsidio.

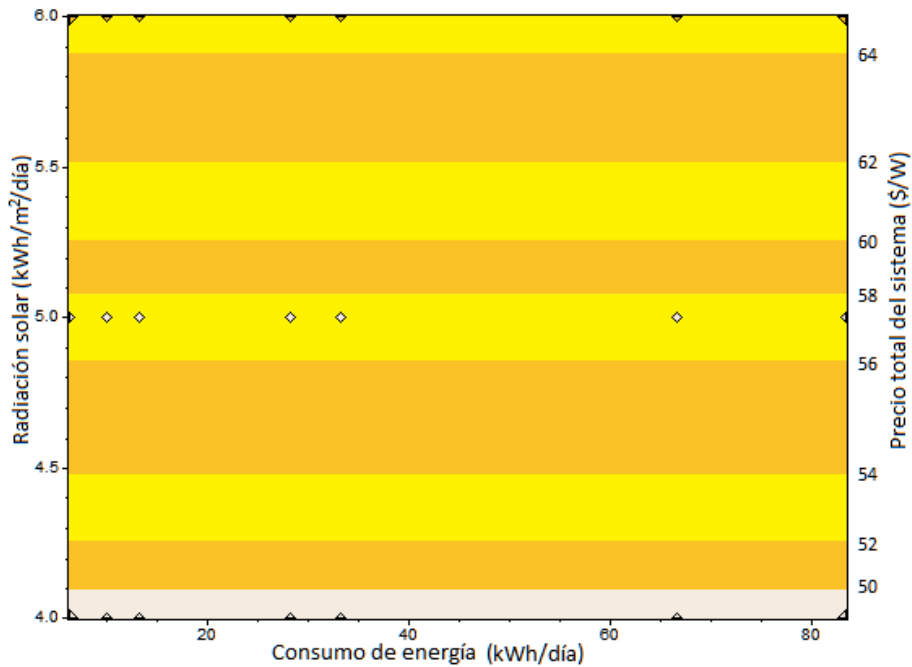
### 5.1.8 Tarifa DAC

En la gráfica 5.8 se puede ver que para la Tarifa DAC la rentabilidad económica de producir energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos no depende del consumo de energía que se tiene en la casa habitación, la rentabilidad económica se ve afectada por la radiación solar y por el precio del arreglo. En este caso el consumo no afecta la rentabilidad económica debido a que una vez que se está en Tarifa DAC el precio del kWh es el mismo sin importar el consumo que se tenga de energía eléctrica.

Para una radiación solar de 4 kWh/m<sup>2</sup>/día el precio máximo del arreglo para que sea rentable el proyecto es de aproximadamente 49 \$/W y para una radiación de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día es de poco más de 64 \$/W. Por lo tanto para las casas habitación que cuentan con Tarifa DAC es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos para satisfacer parte de la demanda de energía eléctrica que se tiene.

Es claro que para un menor precio del arreglo y una mayor radiación solar la rentabilidad de proyecto es más alta.

Gráfica 5.8 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en casas habitación con Tarifa DAC.



Ejemplo 8. Para una casa habitación ubicada dentro de la región de la Tarifa 1 pero que tiene un consumo de energía de 300 kWh/mes y por lo tanto le corresponde la tarifa eléctrica DAC, se considera la instalación de un arreglo de paneles fotovoltaicos con un precio de 52 \$/W y una radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día; con ayuda del software Homer se calcula la rentabilidad económica de la instalación de 2.25 kW de paneles fotovoltaicos y

un inversor de 1.5 kW, sus precios son de \$67,860 y \$32,760 respectivamente por lo cual el precio total del arreglo es de \$100,620.

Al instalar los paneles fotovoltaicos el consumo de energía eléctrica neta tomada de la red eléctrica que reporta Homer es de 48.75 kWh/mes por lo tanto se entra a la Tarifa 1.

El monto a pagar sin paneles fotovoltaicos es de:

$$\text{Monto a pagar} = \text{Cargo fijo mensual} + \text{Consumo mensual} \times \text{Precio de la energía} \quad (2)$$

sustituyendo valores en la ecuación (2) se tiene:

$$\text{Monto a pagar} = \$72.38/\text{mes} + (300 \text{ kWh}/\text{mes})(\$3.258/\text{kWh}) = \$1,049.38/\text{mes}$$

El monto a pagar una vez instalados los paneles fotovoltaicos, con el nuevo consumo de energía de red eléctrica y con la Tarifa 1.

$$\text{Monto a pagar}_{PV} = (48.75 \text{ kWh}/\text{mes})(\$0.713/\text{kWh}) = \$34.76/\text{mes}$$

Por lo tanto se tiene un ahorro de \$1,014.62/mes que son equivalentes a \$12,175.44/año. Sustituyendo valores en la ecuación (1) se tiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\$100,620.00}{\$12,175.44/\text{año}} = 8.90 \text{ años}$$

y la TIR es de:

$$TIR = 10\%$$

por lo cual es rentable el proyecto.

Ahora con los mismos datos se repite el análisis pero para un arreglo que solamente cubra la cantidad de energía necesaria para salir de la Tarifa DAC y entrar a la Tarifa 1, para lo cual se requiere, según los cálculos realizados con Homer, un arreglo de paneles fotovoltaicos de 1 kW y un inversor de 0.50 kW con precios de \$30,160 y \$10,920 respectivamente, por lo que el costo total del sistema es de \$41,080.

La energía neta, que reporta Homer, que se toma de la red eléctrica, con el arreglo de paneles fotovoltaicos, es de 200 kWh/mes, el monto a pagar por el consumo de ésta es:

$$\begin{aligned}
 \text{Monto a pagar}_{PV1} &= (75kWh \times \$0.713/kWh) + (50kWh \times \$1.189/kWh) + (75kWh \\
 &\times \$2.513/kWh) = \$301.40/mes
 \end{aligned}$$

Por lo tanto el ahorro es de \$747.98/mes o de \$8,975.76/año, así el periodo de recuperación y la TIR para este caso son:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\$41,080.00}{\$8,975.76} = 4.58 \text{ años}$$

$$TIR = 21\%$$

Para quienes pagan esta tarifa eléctrica es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos para producir energía eléctrica, sin embargo, se recomienda instalar la capacidad necesaria para salir de la tarifa DAC y entrar a la tarifa correspondiente a la zona, ya que se obtiene una mayor rentabilidad.

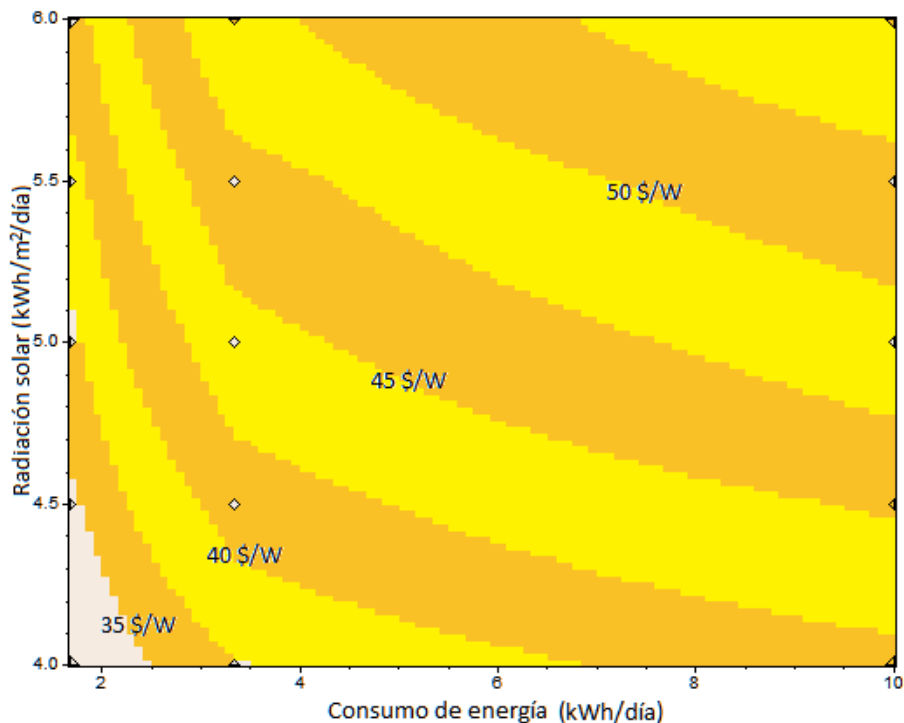


## 5.2 Comercial

### 5.2.1 Tarifa 2

Al igual que en las tarifas domésticas en esta tarifa eléctrica sólo se toma en cuenta el consumo de energía eléctrica que se tiene además de un cargo fijo mensual, por lo tanto tampoco es relevante para este estudio la curva de demanda de energía que se tiene.

Gráfica 5.9 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en Tarifa 2.

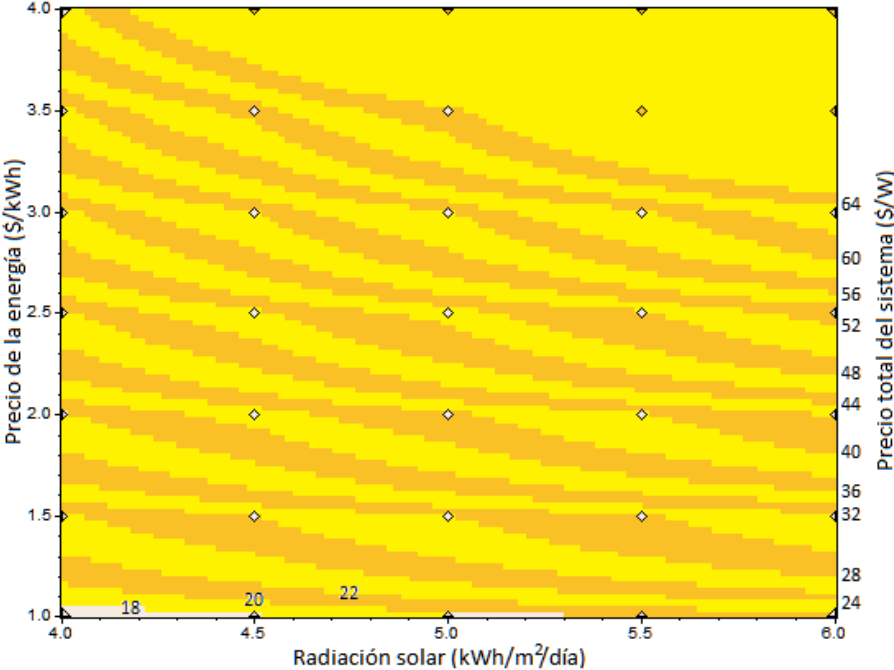


En la gráfica 5.9 se observa que para la tarifa eléctrica 2 cuando se tiene un radiación solar de 4.6 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo mayor de energía a 2.5 kWh/día el precio máximo del arreglo de paneles fotovoltaicos no debe de ser mayor a 35 \$/W para que sea rentable su instalación. A medida que aumenta el consumo de electricidad puede aumentar el precio que se paga por el arreglo de paneles fotovoltaicos, lo mismo sucede cuando aumenta la radiación solar.

Es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en lugares que cuentan con la Tarifa 2 si se tienen radiaciones solares mayores a los 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día y consumos de energía superiores a los 10 kWh/día. Para zonas que tienen una radiación solar mayor a los 5.2 kWh/m<sup>2</sup>/día el consumo de energía debe de ser mayor a los 3 kWh/día.

En general para las tarifas eléctricas en las que solamente se toma en cuenta el consumo de energía eléctrica, sin importar el momento del día en que ésta se consume, se puede emplear la gráfica 5.10 para buscar cual es el precio del arreglo más alto que se puede pagar en \$/W para que sea rentable el proyecto, siempre y cuando se conozca la radiación solar promedio en la zona y el precio de la energía eléctrica que se está pagado.

Gráfica 5.10 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos.



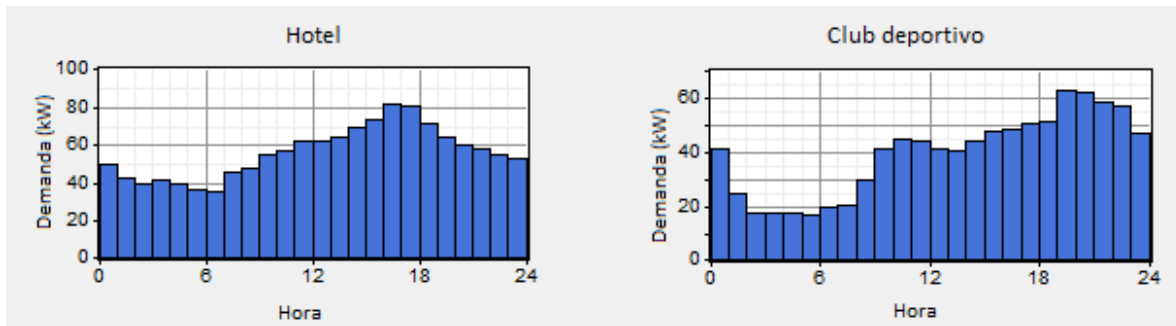
Las tarifas eléctricas que además del cargo por el consumo de energía consideran un cargo por la demanda máxima se analizan en la siguiente sección.

### 5.2.2 Tarifa 3

Ya que esta tarifa eléctrica considera un cargo por la demanda máxima de energía además del cargo por consumo, la curva de demanda que se tiene es importante por lo tanto no es fácil generalizar para que casos es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos, sin embargo a continuación se muestra el análisis de dos casos particulares.

En la gráfica 5.11 se muestran dos curvas de demanda de energía eléctrica, una para un hotel ubicado en el puerto de Veracruz que tiene un consumo promedio de 1,340 kWh/día y una demanda máxima de energía de 147 kW; el club deportivo tiene un consumo promedio de 943 kWh/día y una demanda promedio de 113 kW. Como se puede ver en las gráficas la demanda máxima de energía es mayor en el hotel y se da más temprano ya que es de las 16 a las 18 horas mientras que para el club deportivo la demanda es menor y se da de las 17 a las 19 horas.

Gráfica 5.11 Curvas de demanda de electricidad para un hotel y un club deportivo



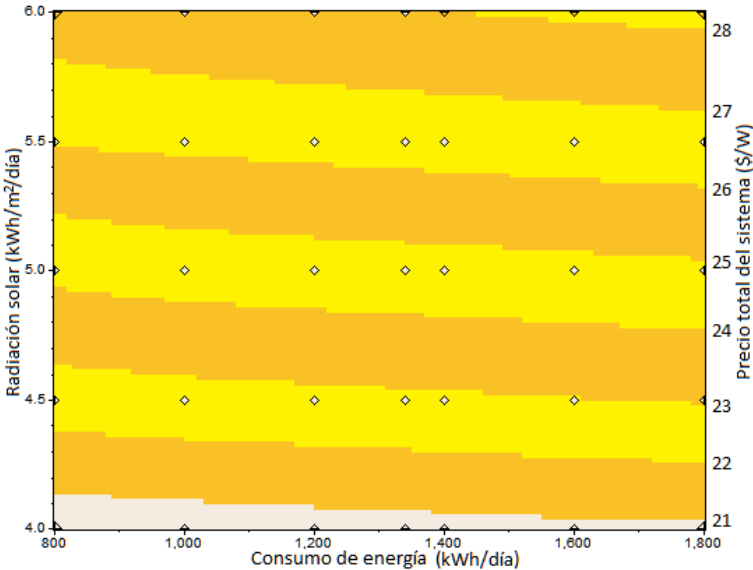
A continuación se presenta el análisis de rentabilidad económica de la instalación de paneles fotovoltaicos para cada uno de los inmuebles.

La gráfica 5.12 se pueden ver los precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos, en el hotel, bajo distintos niveles de radiación solar y de consumo de energía eléctrica, por ejemplo para un consumo de energía eléctrica de 1,340 kWh/día y una radiación solar de 4.1 kWh/m<sup>2</sup>/día el precio máximo del arreglo con el que aún es rentable el proyecto es de 21 \$/W mientras que para un consumo igual y una radiación solar de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día el precio máximo del arreglo es de casi 28 \$/W.

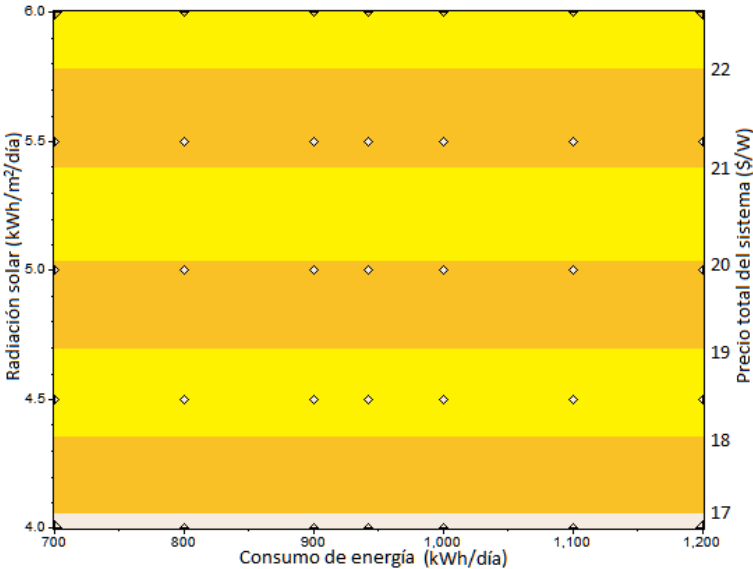
Para el club deportivo con un consumo de energía de 943 kWh/día y una radiación solar de 4.1 kWh/m<sup>2</sup>/día el precio máximo que se puede pagar por el arreglo de paneles fotovoltaicos es de 17 \$/W y manteniendo el mismo consumo de energía y con una radiación solar de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día el precio máximo que se puede pagar para que sea aun rentable el proyecto es de poco más de 22 \$/W como se puede ver en la gráfica 5.13.

Al comparar las gráficas 5.12 y 5.13 es claro que es más rentable económicamente la instalación de paneles fotovoltaicos en el hotel, esto es debido a la curva de demanda eléctrica que se tiene, en el hotel la demanda máxima se da más temprano y por lo tanto es posibles disminuirla con los paneles solares, mientras que en el club deportivo la demanda máxima se da por la noche y por consecuencia los paneles solares no pueden contribuir a disminuirla. Así la rentabilidad económica en las tarifas eléctricas que consideran demanda máxima se ve afectada por la hora del día en que ésta es alcanzada.

Gráfica 5.12 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en el hotel.



Gráfica 5.13 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en el club.

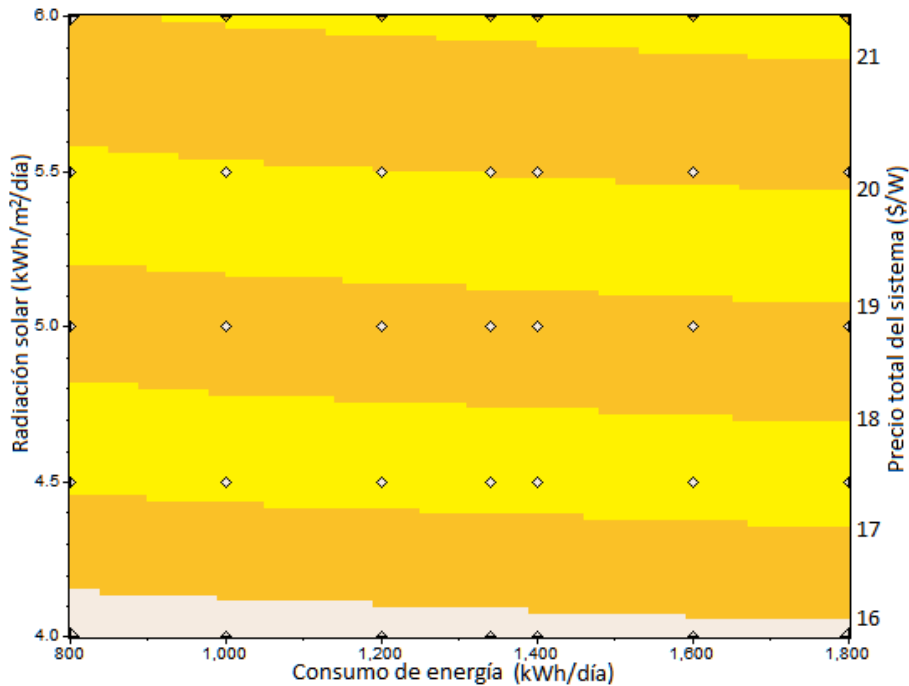


### 5.2.3 Tarifa O-M

Al igual que en la tarifa eléctrica 3 esta tarifa toma en cuenta un cargo por demanda máxima de energía, por lo tanto también es importante la curva de demanda que se tiene en el inmueble en el que se desea instalar los paneles fotovoltaicos. Para el estudio de esta tarifa se vuelven a considerar los anteriores ejemplos del hotel y el club deportivo pero ahora suponiendo que se encuentran dentro de la tarifa O-M.

En la gráfica 5.14 se muestran los precios máximos que pueden tener los arreglos de paneles fotovoltaicos, bajo distintos niveles de radiación y consumo de energía, para que sea rentable económicamente su instalación en el hotel. Con una radiación de 4.1 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo de energía de 1,340 kWh/día el máximo precio del arreglo no debe de ser mayor a 16 \$/W, para una radiación de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día y el mismo consumo el precio máximo del arreglo que se puede pagar para que aun sea rentable el proyecto es de 21 \$/W. Al comparar las gráficas 5.12 y 5.14 se puede ver que es más rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en la tarifa 3 ya que los cargos tanto por demanda máximo como por consumo de energía son mayores.

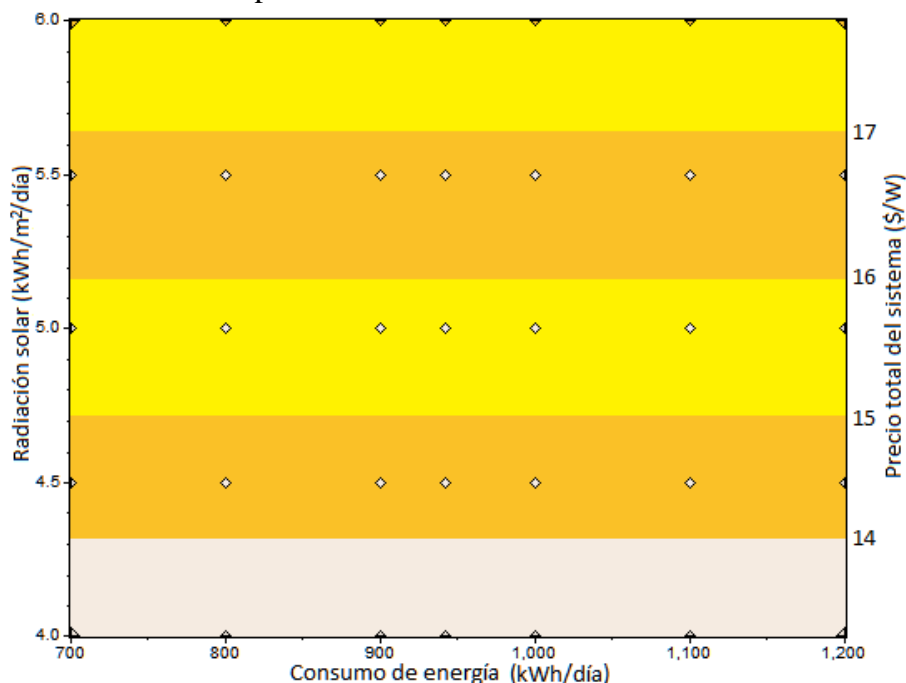
Gráfica 5.14 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en el hotel.



En la gráfica 5.15 se muestran los precios máximos que pueden tener los arreglos de paneles fotovoltaicos para que sea rentable utilizarlos en el club deportivo, con una radiación de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día y un consumo de 943 kWh/día el precio máximo que se puede

pagar es de 14 \$/W mientras que con el mismo consumo pero con una radiación solar de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día el precio máximo que se puede pagar es de poco más de 17 \$/W para que sea rentable el proyecto. Al comparar las gráficas 5.13 y 5.15 se ve que es más rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en la tarifa eléctrica 3 ya que los precios máximos que estos pueden tener para que sea rentable su instalación son mayores.

Gráfica 5.15 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en el club.



Para las tarifas eléctricas que toman en cuenta un cargo por la demanda máxima medida como las tarifas 3 y O-M los paneles fotovoltaicos se vuelven más rentables cuando se puede cubrir parte de esta demanda con ellos, sin embargo se puede utilizar la gráfica 5.10 para ver el precio máximo que se puede pagar por el arreglo aproximadamente.

Para las tarifas eléctricas en las cuales parece no ser rentable la colocación de los paneles fotovoltaicos es importante tomar en cuenta que si se es contribuyente del ISR es posible deducir la parte de la inversión correspondiente a equipo y maquinaria que en promedio es de 65 a 70% de la inversión inicial, es decir, para un arreglo cuyo precio es de 45 \$/W al deducir el 65% el precio que se toma en cuenta es de 15.75 \$/W.

### 5.3 Análisis de sensibilidad

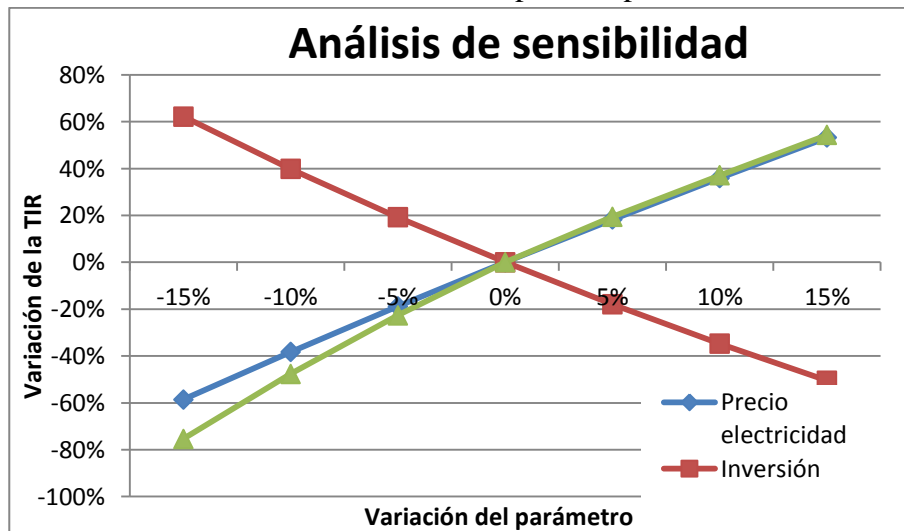
En la Tabla 5.8 se muestra el cambio de la TIR al mantener fijos dos de los tres parámetros y variar el tercero. El precio al cual se compra la energía eléctrica en el inmueble es directamente proporcional a la TIR, es decir, entre mayor es el precio mayor es la TIR; a medida que disminuye la inversión crece la TIR por lo tanto la inversión es inversamente proporcional a la TIR; la radiación solar es directamente proporcional a la TIR ya que a medida que aumenta también lo hace la TIR.

Tabla 5.8 Cambio de la TIR al variar el precio de la energía eléctrica, la inversión y la radiación solar.

Variación del parámetro	Variación de la TIR		
	precio electricidad	Inversión	Radiación solar
-15%	-58.56%	62.15%	-75.37%
-10%	-38.32%	39.83%	-47.67%
-5%	-18.83%	19.19%	-22.67%
0%	0.00%	0.00%	0.00%
5%	18.24%	-17.92%	19.44%
10%	35.95%	-34.72%	37.12%
15%	53.20%	-50.55%	54.33%

En la gráfica 5.16 se puede ver que los tres parámetros son importantes en la rentabilidad económica del proyecto pero el factor que impacta con mayor fuerza a la TIR es la radiación solar.

Gráfica 5.16 Análisis de sensibilidad para los paneles fotovoltaicos



# Capítulo 6. Análisis de la rentabilidad de producir energía eléctrica mediante aerogeneradores

---

A continuación se presenta el análisis sobre la rentabilidad económica de utilizar aerogeneradores para producir energía eléctrica en el sector residencial y comercial en México.

Al igual que con la producción de electricidad por medio de los paneles fotovoltaicos es posible crear una interconexión con la red eléctrica bajo el régimen de medición neta, por lo cual no se emplean las baterías. También al igual que con los paneles solares es posible deducir completamente la parte de la inversión destinada a equipo y maquinaria para la producción de energía eléctrica.

El costo de la instalación de paneles fotovoltaicos es de 35 a 50 \$/W, este costo incluye: aerogenerador, inversor, mano de obra, instalación y torre. Este costo se aplica para instalaciones mayores a los 900 W.

Los aerogeneradores dependen de la velocidad y de la calidad del viento para funcionar, es decir, requieren de viento no turbulento y la mayoría requiere una velocidad del viento superior a los 3 m/s para poder operar. Ya que no se tienen estudios del viento en todo el territorio mexicano se ha tomado la velocidad del viento en la Venta Oaxaca a 30 metros de altura sobre el nivel del terreno como máximo para poder realizar el análisis.

Así con los datos anteriores se precede a realizar la simulación de los distintos sistemas de aerogeneradores variando el precio de la electricidad y la velocidad del viento, en la gráfica 6.1 se muestran los resultados obtenidos.

Mediante la gráfica 6.1 es posible analizar si es rentable económicamente producir energía eléctrica por medio de aerogeneradores en el sector residencial y comercial.

Para la Tarifa 1 cuyo precio máximo que alcanza el kWh es de \$1.708 se requieren velocidades del viento superiores a los 4 m/s para que el costo del arreglo máximo sea de 10 \$/w, al incrementarse la velocidad del viento a 5 m/s el costo máximo del arreglo sube hasta 15 \$/W, sin embargo la velocidad de viento que se requiere, con los precios actuales



de los sistemas de aerogeneradores, es superior a los 7.25 m/s para que sea rentable el proyecto en la tarifa eléctrica 1.

Para la Tarifa 1A el precio máximo del kWh en febrero del 2011 es de \$1.767 por lo tanto la velocidad mínima del viento debe de ser de 7 m/s para que sea rentable económicamente la instalación de los aerogeneradores.

Para la Tarifa 1B se requieren velocidades del viento superiores a los 6.75 m/s para que sea rentable la producción de energía eléctrica por medio de aerogeneradores, el precio máximo de la electricidad en febrero del 2011 para esta tarifa es de \$1.815/kWh.

El precio máximo en febrero del 2011 para la Tarifa 1C es de \$1.983/kWh, por lo tanto se requiere que la velocidad del viento sea superior a los 6.5 m/s para que sea rentable la instalación de los aerogeneradores.

Para la Tarifa 1D el precio máximo del kWh para febrero del 2011 es de \$1.940, por lo tanto la velocidad mínima del viento debe de ser de 6.5 m/s para que la producción de energía eléctrica por medio de aerogeneradores sea rentable.

La velocidad mínima del viento debe de ser de 6.25 m/s en la Tarifa 1E con un precio máximo del kWh en febrero del 2011 de \$2.104 para que sea rentable el proyecto.

Para la Tarifa 1F el precio máximo de la energía eléctrica en febrero del 2011 es de \$2.001/kWh y por lo tanto la velocidad mínima del viento debe de ser de 6.5 m/s para que sea rentable la instalación de los aerogeneradores.

El precio promedio de la electricidad en la tarifa DAC en febrero del 2011 es de \$3.044/kWh y por lo tanto la velocidad mínima del viento debe de ser de 5.25 m/s para que sea rentable el proyecto.

El precio promedio para la Tarifa 2 de la electricidad es de \$1.967/kWh por lo tanto la velocidad mínima del viento debe de ser de 6.5 m/s para que el proyecto sea rentable.

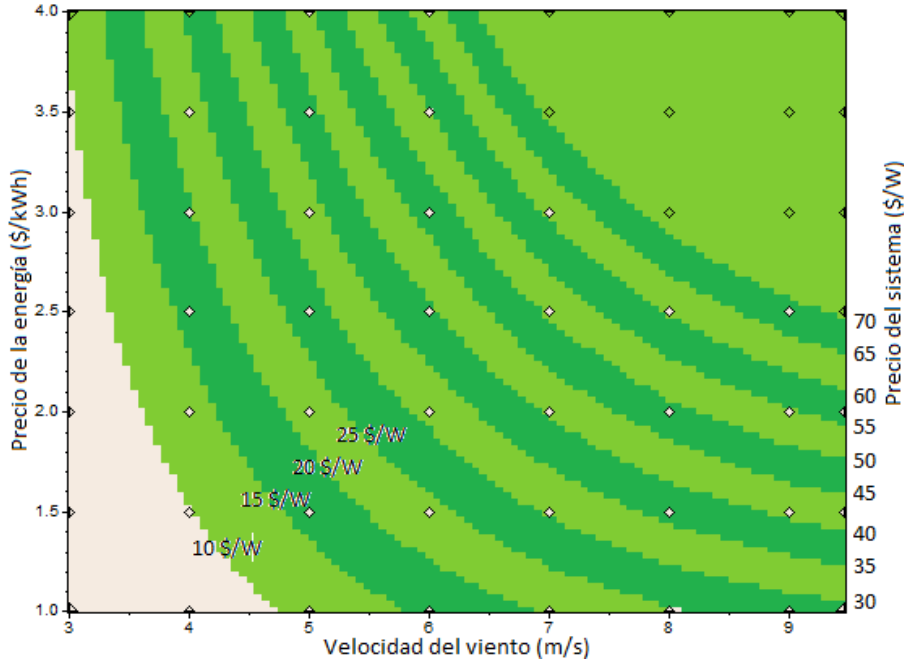
Las tarifas eléctricas anteriores solamente toman en cuenta un cargo debido al consumo de energía eléctrica, sin embargo para las tarifas que también toman en cuenta un cargo por la demanda máxima medida el análisis es más complejo como se mostró en el capítulo anterior, así la rentabilidad económica de los proyectos no sólo se afectada por el consumo de energía sino también por la forma que tiene la curva de la demanda, así la rentabilidad económica del proyecto es distinta para cada inmueble. Sin embargo la gráfica 6.1 puede ayudar a ver una aproximación del máximo precio que se puede pagar por el sistema de aerogeneradores.

Para la Tarifa 3 precio promedio de la energía eléctrica en febrero del 2011 es de \$1.442/kWh y por lo tanto la velocidad mínima del viento debe de ser de 8 m/s. Debe de tenerse en cuenta que de contribuir los aerogeneradores a cubrir la demanda máxima de energía medida el precio máximo que se puede pagar por el sistema para que éste sea aun rentable es mayor.

En la Tarifa O-M la energía eléctrica tiene un precio promedio de \$1.132/W en febrero del 2011, por lo tanto, con los precios actuales de los aerogeneradores no es

rentable su instalación a menos que quien desee instalarlos sea contribuyente del Impuesto Sobre la Renta y pueda deducir parte de la inversión.

Gráfica 6.1 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de aerogeneradores.



Entre menor sea el cargo debido al consumo de energía eléctrica establecido por la Comisión Federal de Electricidad mayor es la velocidad del viento requerida para que sea rentable la instalación de los aerogeneradores en un inmueble. Sin embargo, al tomar en cuenta que el porcentaje de la inversión inicial debido a equipo y maquinaria necesario para la generación de electricidad por medio de los aerogeneradores es de aproximadamente el 50%, los precios del arreglo disminuyen en la misma cantidad para aquellos contribuyentes del ISR y por lo tanto la velocidad mínima del viento requerida para que sea rentable el proyecto también es menor.

## 6.1 Análisis de sensibilidad

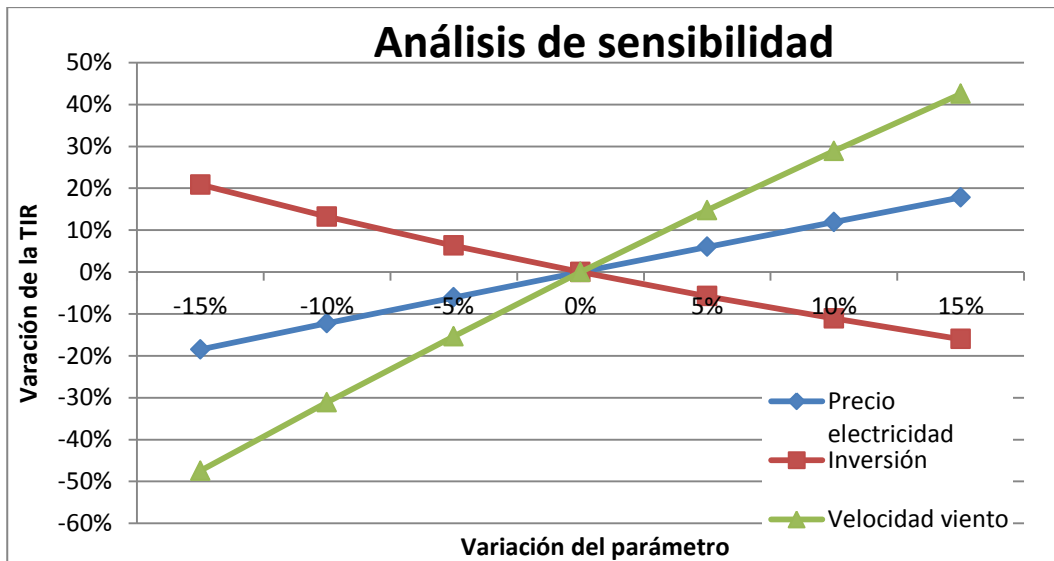
En la Tabla 6.1 se reporta la variación porcentual que tiene la TIR al modificar cada uno de los parámetros.

Tabla 6.1 Cambio de la TIR al variar el precio de la energía eléctrica, la inversión y la velocidad del viento.

Variación del parámetro	Variación de la TIR		
	precio electricidad	Inversión	Velocidad del viento
-15%	-18.49%	20.87%	-47.47%
-10%	-12.23%	13.23%	-31.11%
-5%	-6.07%	6.31%	-15.36%
0%	0.00%	0.00%	0.00%
5%	5.99%	-5.78%	14.74%
10%	11.92%	-11.10%	28.88%
15%	17.78%	-16.02%	42.50%

En la gráfica 6.2 se puede ver que el factor que influye con mayor fuerza en el TIR es la velocidad del viento, entre mayor es la velocidad del viento mayor es la TIR; por otro lado, la inversión es inversamente proporcional a la rentabilidad económica del proyecto, es decir, entre mayor sea la inversión requerida menor es la TIR; el precio al que se compra la energía eléctrica es inversamente proporcional a la TIR.

Gráfica 6.2 Análisis de sensibilidad para los aerogeneradores.



# Conclusiones

---

Para las tarifas domésticas 1, 1A, 1B, 1C, 1D y 1F no es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos para producir energía eléctrica, se espera que en un futuro esto cambie ya que la tendencia actual de los precios, de los equipos necesarios para producir energía eléctrica a base de fuentes renovables, va a la baja mientras que el precio del kWh en las tarifas eléctricas aumenta año con año.

Para las casa habitación que cuentan con tarifa eléctrica DAC es rentable económicamente la instalación de los paneles fotovoltaicos, por lo tanto, es recomendable instalar un arreglo de paneles fotovoltaicos que cubran la demanda excedente de energía y sea posible salir de la Tarifa DAC e ingresar a la tarifa eléctrica correspondiente a la zona.

Para los inmuebles que cubren la Tarifa 2 es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos bajo diferentes condiciones de consumo de energía y de radiación solar por ejemplo para radiaciones solares y consumos mayores a los 5 kWh/m<sup>2</sup>/día y 3 kWh/día respectivamente. Sin embargo se puede decir que es rentable la instalación de los paneles fotovoltaicos para quienes cubren la tarifa eléctrica 2 y son contribuyentes del Impuesto Sobre la Renta.

Para aquellos que cubren la tarifa eléctrica O-M o 3 la rentabilidad del proyecto depende de la curva de demanda que se tiene en el inmueble a lo largo del día, sin embargo la instalación de paneles fotovoltaicos se recomienda para quienes son contribuyentes del ISR y además cuentan con una radiación solar mayor a los 5 kWh/m<sup>2</sup>/día.

Los aerogeneradores requieren velocidades de viento superiores a los 3 m/s para que puedan funcionar, para las tarifas eléctricas domésticas, excepto DAC, se requieren velocidades del viento mayores a los 6.5 m/s y consumos de energía de aproximadamente el 80% del máximo permitido en cada tarifa para que sea rentable la instalación de los aerogeneradores. Para la tarifa DAC la velocidad mínima del viento requerida para que sea rentable el proyecto es de 5 m/s.

Para la tarifa 2 se requieren velocidades del viento superiores a los 5.5 m/s para que sea rentable la instalación de los paneles fotovoltaicos pero para los contribuyentes del ISR la velocidad requerida debe de ser mayor a los 4.5 m/s. Para las tarifas eléctricas 3 y O-M la

rentabilidad depende de la curva de la demanda que se tiene pero en general para los contribuyentes del ISR se requieren velocidades del viento superiores a los 5.5 m/s para que la instalación de los aerogeneradores sea rentable.

El factor que más influye en la rentabilidad económica del proyecto es la variación del recurso natural, es decir, para los paneles fotovoltaicos que tiene mayor peso en la TIR es la radiación solar; mientras que para los aerogeneradores la velocidad del viento es el factor que tiene mayor impacto sobre la TIR.

Por lo tanto con los contratos de interconexión eléctrica para fuentes renovables de energía con los que cuenta la CFE y la modalidad de medición neta, es rentable producir energía eléctrica por medio de fuentes renovables en casas con tarifa DAC. Para las personas morales, con las actuales leyes en materia de energías renovables como la “Ley del Impuesto Sobre la Renta” que cubren alguna de las tarifas 2, 3 o O – M es rentable la producción de energía eléctrica a base de fuentes renovables siempre y cuando sean contribuyentes del Impuesto Sobre la Renta.

# Bibliografía

---

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y su Protocolo de Kyoto (octubre del 2010) [base de datos] United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en:  
[http://unfccc.int/files/portal\\_espanol/press/application/pdf/fact\\_sheet\\_sp\\_convention\\_and\\_protocol.pdf](http://unfccc.int/files/portal_espanol/press/application/pdf/fact_sheet_sp_convention_and_protocol.pdf) [diciembre del 2010]

Working Group I Report “The Physical Science Basis” (2007) [base de datos] IPCC. Disponible en:  
<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm> [diciembre del 2010]

Cambio Climático 2007, Informe de Síntesis (2007) [base de datos] IPCC. Disponible en:  
[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf) [diciembre del 2010]

La Ciencia del Cambio Climático, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (octubre del 2010) [base de datos] United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en:  
[http://unfccc.int/files/portal\\_espanol/press/application/pdf/fact\\_sheet\\_sp\\_climate\\_change\\_science.pdf](http://unfccc.int/files/portal_espanol/press/application/pdf/fact_sheet_sp_climate_change_science.pdf) [diciembre del 2010]

La necesidad de adaptación, United Nations Framework Convention on Climate Change (octubre del 2010) [base de datos] United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en:  
[http://unfccc.int/files/portal\\_espanol/press/application/pdf/fact\\_sheet\\_adaptation.pdf](http://unfccc.int/files/portal_espanol/press/application/pdf/fact_sheet_adaptation.pdf) [diciembre del 2010]

Por qué es tan importante la tecnología, United Nations Framework Convention on Climate Change (octubre del 2010) [base de datos] United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en:  
[http://unfccc.int/files/portal\\_espanol/press/application/pdf/fact\\_sheet\\_sp\\_technology.pdf](http://unfccc.int/files/portal_espanol/press/application/pdf/fact_sheet_sp_technology.pdf) [diciembre del 2010]

Efectos del cambio climático actual (enero del 2011) [base de datos] Ventanas al universo. Disponible en:  
[http://www.windows2universe.org/earth/climate/cli\\_effects.html&lang=sp](http://www.windows2universe.org/earth/climate/cli_effects.html&lang=sp) [enero del 2011]

Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009 (septiembre del 2009) [base de datos] Secretaría Nacional de Energía (SENER). Disponible en:

[www.sener.gob.mx/res/0/ER\\_para\\_Development\\_Sustainable\\_Mx\\_2009.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/0/ER_para_Development_Sustainable_Mx_2009.pdf) [enero del 2011]

Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos en conexiones a la red eléctrica en México (julio del 2009) [base de datos] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). Disponible en:

<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7157/1/NichosMercSF2009GTZ.pdf> [diciembre del 2010]

Renewable Energy Technology Resource Maps (2009) [base de datos] National Renewable Energy Laboratory (NREL). Disponible en:

[http://www.nrel.gov/wind/pubs\\_issues.html#wpa](http://www.nrel.gov/wind/pubs_issues.html#wpa) [diciembre del 2010]

Plan de acción para eliminar barreras para el desarrollo de la generación eoloelectrica en México (2010) [base de datos] Instituto de Investigaciones Eléctricas IIE. Disponible en:

<http://planeolico.iie.org.mx/iepnud.htm> [diciembre del 2010]

Twitter de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (14 de enero del 2011) Disponible en:

[http://twitter.com/CFE\\_MEX](http://twitter.com/CFE_MEX) [enero del 2011]

Boletines de prensa de la CFE, Innovación y competitividad, caminos de CFE para enfrentar los retos del futuro, Alfredo Elías. 8 de diciembre del 2010

Energía eólica (2009) [base de datos] Revista Digital Universitaria. Disponible en:

<http://www.revista.unam.mx/vol.11/num2/art24/int24a.htm> [enero del 2011]

Acosta, Aracely (septiembre del 2006). Parque eólico en el Istmo de Tehuantepec. [En línea] México: Comisión Nacional de Electricidad. Disponible en:

<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4289/2/aracelyacosta.pdf> [diciembre el 2010]

Ley para el aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (noviembre del 2008) [base de datos] Comisión Reguladora de Energía (CRE). Disponible en:

<http://www.cre.gob.mx/documento/1523.pdf> [diciembre del 2010]

Requerimientos para la interconexión de aerogeneradores al sistema eléctrico. [Base de datos] Comisión Federal de Electricidad (CFE). Disponible en:

[http://201.174.39.75:8011/D2/8\\_Codig\\_red\\_Aerogeneradores\\_V2.pdf](http://201.174.39.75:8011/D2/8_Codig_red_Aerogeneradores_V2.pdf) [enero del 2011]

Energía y desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la formulación de políticas energéticas (julio del 2000) [base de datos] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Disponible en:

<http://www.gtz.de/de/dokumente/es-olade-2.pdf> [enero del 2011]

Mexico, Total Installed Capacity (2010) [base de datos] Global Wind Energy Council.  
Disponible en:  
<http://www.gwec.net/> [enero del 2011]

Diario Oficial de la Federación de México (2010, 31 de diciembre) Ley del Impuesto Sobre la Renta. [En línea] Disponible en:  
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/82.pdf> [enero del 2011]

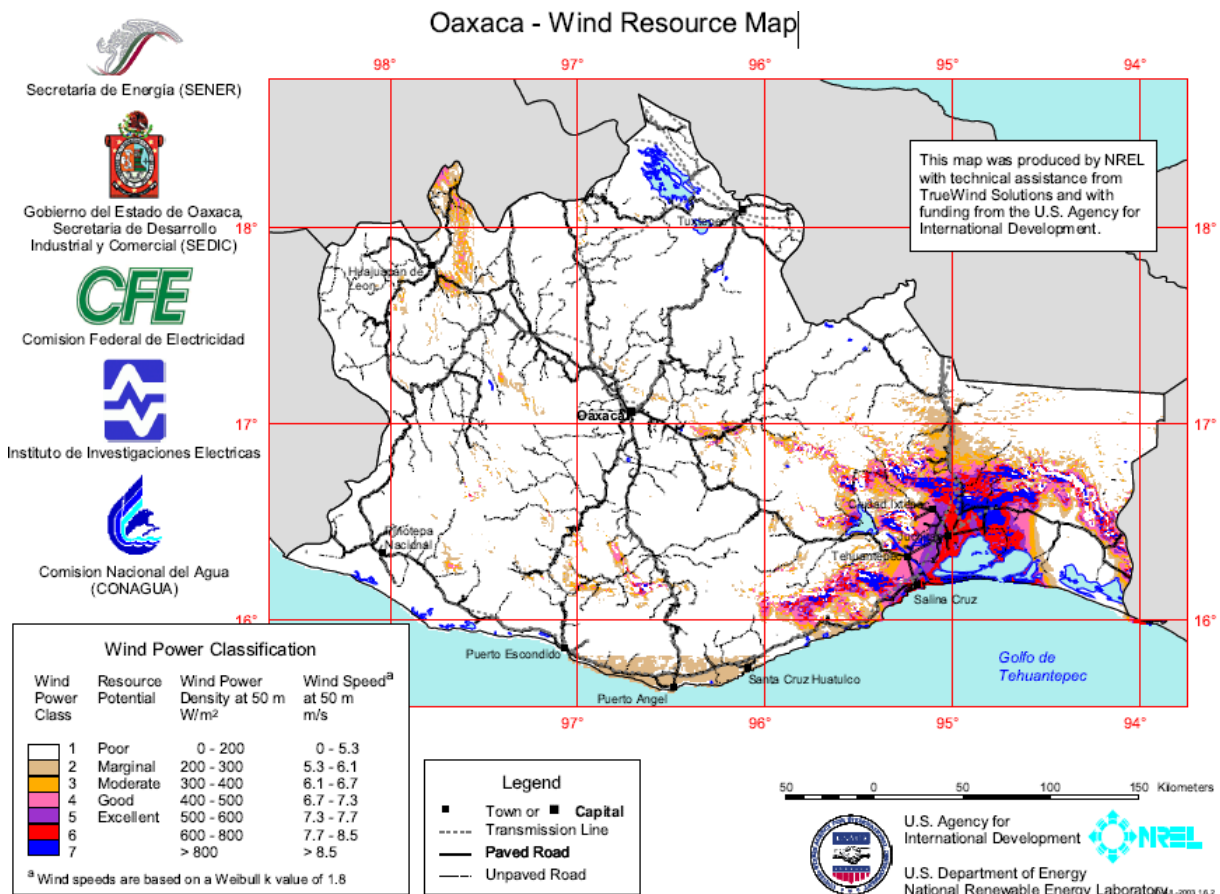
Inflación (2011) [base de datos] Banco de México Banxico BANXICO. Disponible en:  
<http://www.banxico.org.mx/PortalesEspecializados/inflacion/inflacion.html> [febrero del 2011]

Cambio Climático 2007-Base de Ciencia Física (2007) [base de datos] Organización de los Estados Iberoamericanos (OEI). Disponible en:  
<http://www.oei.es/noticias/spip.php?article1373> [diciembre del 2010]

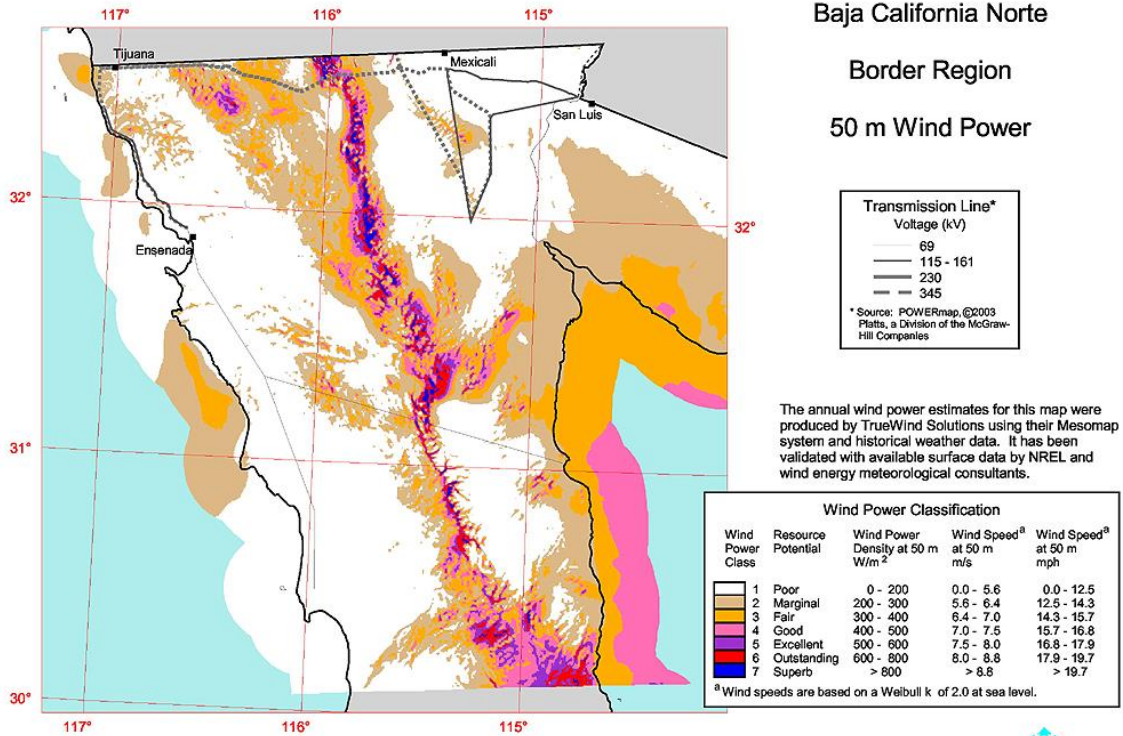


# Apéndice A. Mapas de recursos eólicos

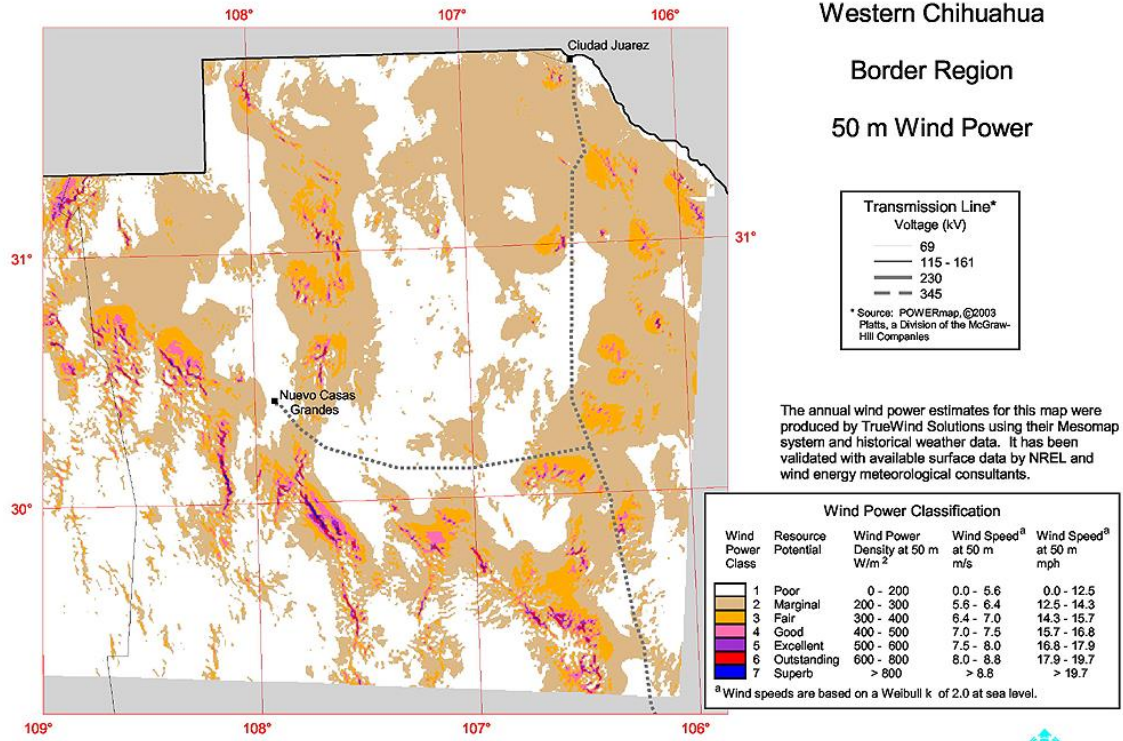
Durante el presente apéndice se muestran algunos mapas de recursos eólicos para los Estados de Oaxaca, Baja California Norte, Chihuahua, Sonora, Baja California Sur, Quintana Roo y Yucatán. Todos los mapas que se presentan a continuación son tomados del NREL por sus siglas en inglés *National Renewable Energy Laboratory*.



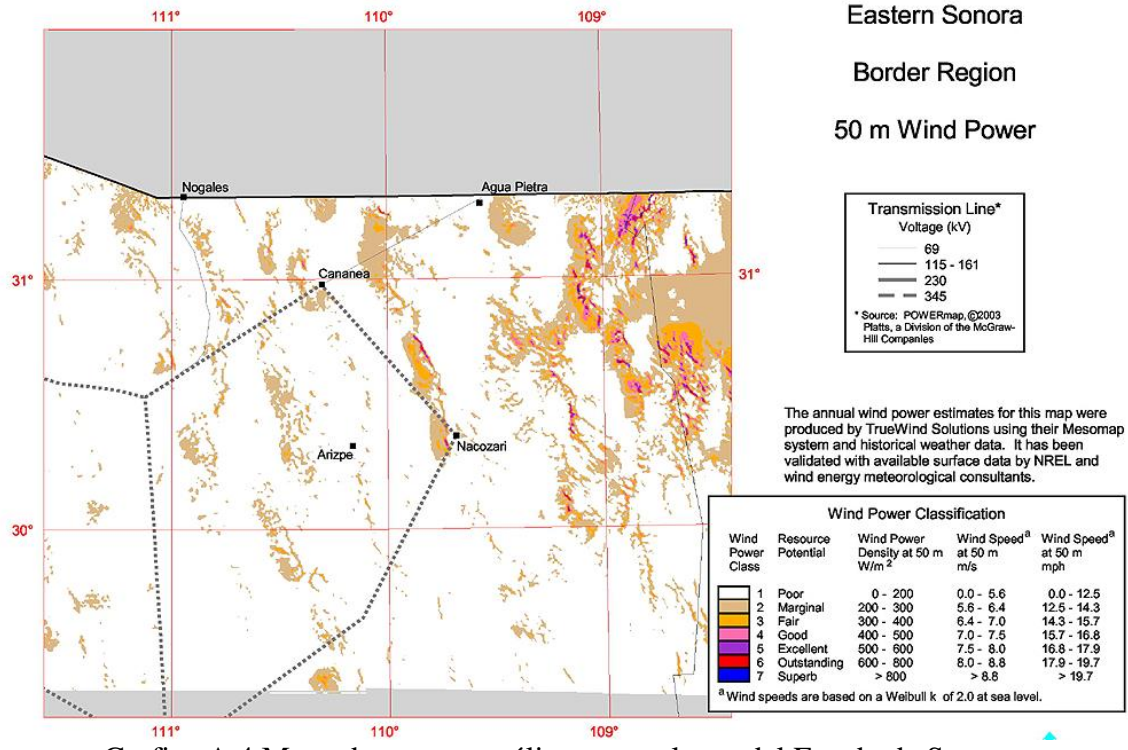
Grafica A.1 Mapa de recursos eólicos para Oaxaca.



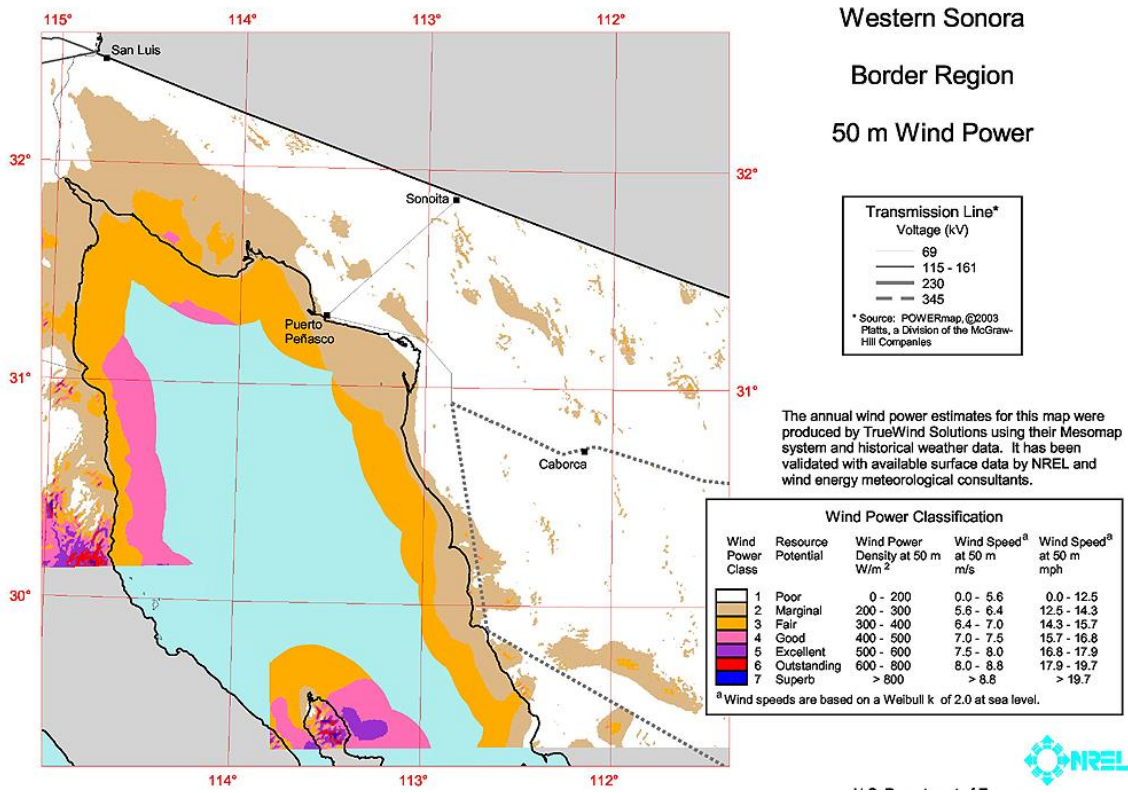
Grafica A.2 Mapa de recursos eólicos para Baja California Norte.



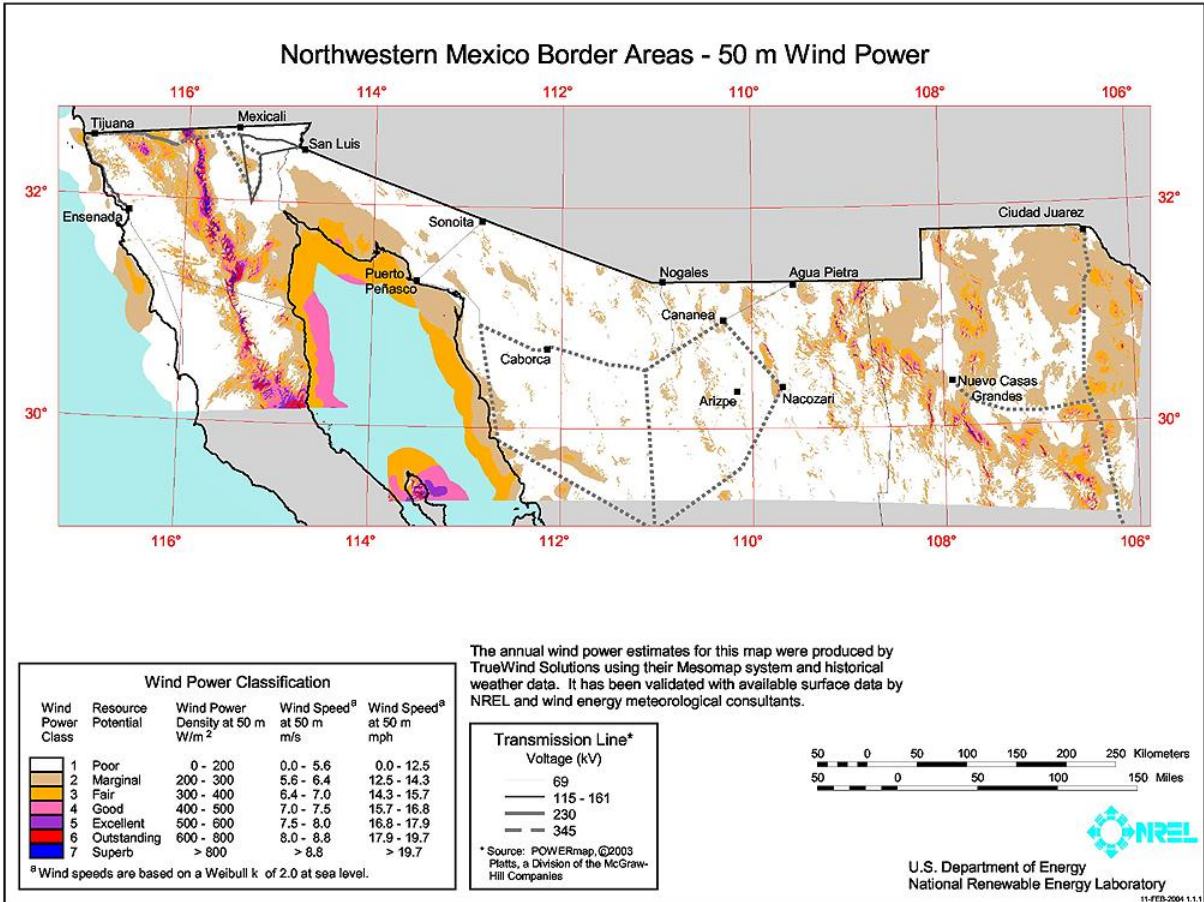
Grafica A.3 Mapa de recursos eólicos para el oeste del Estado de Chihuahua.



Grafica A.4 Mapa de recursos eólicos para el este del Estado de Sonora.

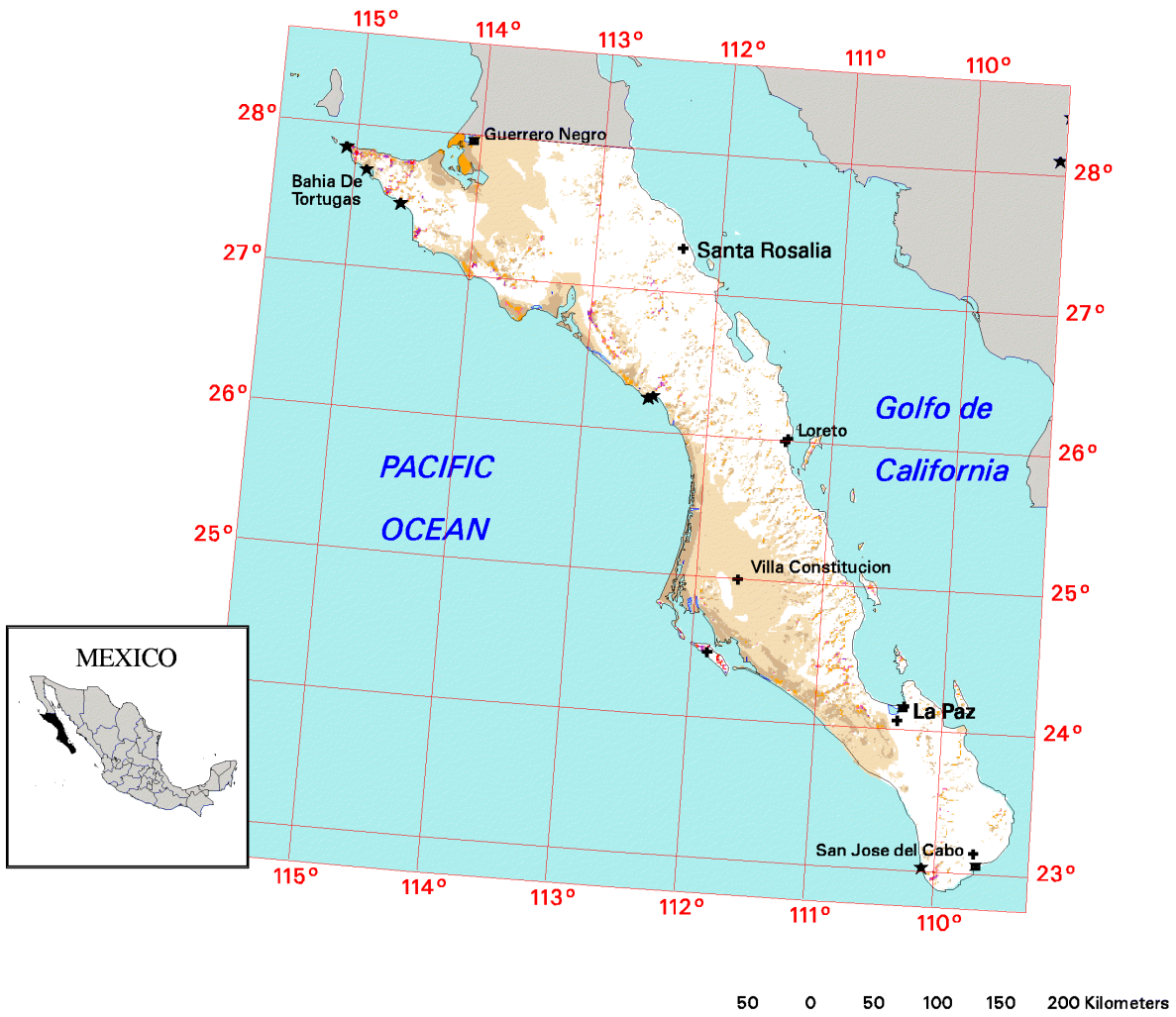


Grafica A.5 Mapa de recursos eólicos para el oeste de Sonora.



Grafica A.6 Mapa de recursos eólicos para el noroeste de México.

## Mexico - Baja California Sur Wind Resource Map



The wind resource classification is specific for both utility scale and rural applications and applies to areas with low surface roughness.

Wind Power Classification			
Resource Potential		Wind Power Density at 30 m	Wind Speed <sup>a</sup> at 30 m
Utility	Rural	W/m <sup>2</sup>	m/s
Marginal	Moderate	100 - 150	4.4 - 5.0
Marginal	Moderate	150 - 200	5.0 - 5.6
Moderate	Good	200 - 250	5.6 - 6.0
Moderate	Good	250 - 300	6.0 - 6.4
Good	Excellent	300 - 400	6.4 - 7.0
Good	Excellent	400 - 600	7.0 - 8.0

<sup>a</sup> Wind speeds are based on a Weibull k value of 2.0.

- ✦ Meteorological Station with Wind Data
- ★ Additional Wind Measurement Site
- City

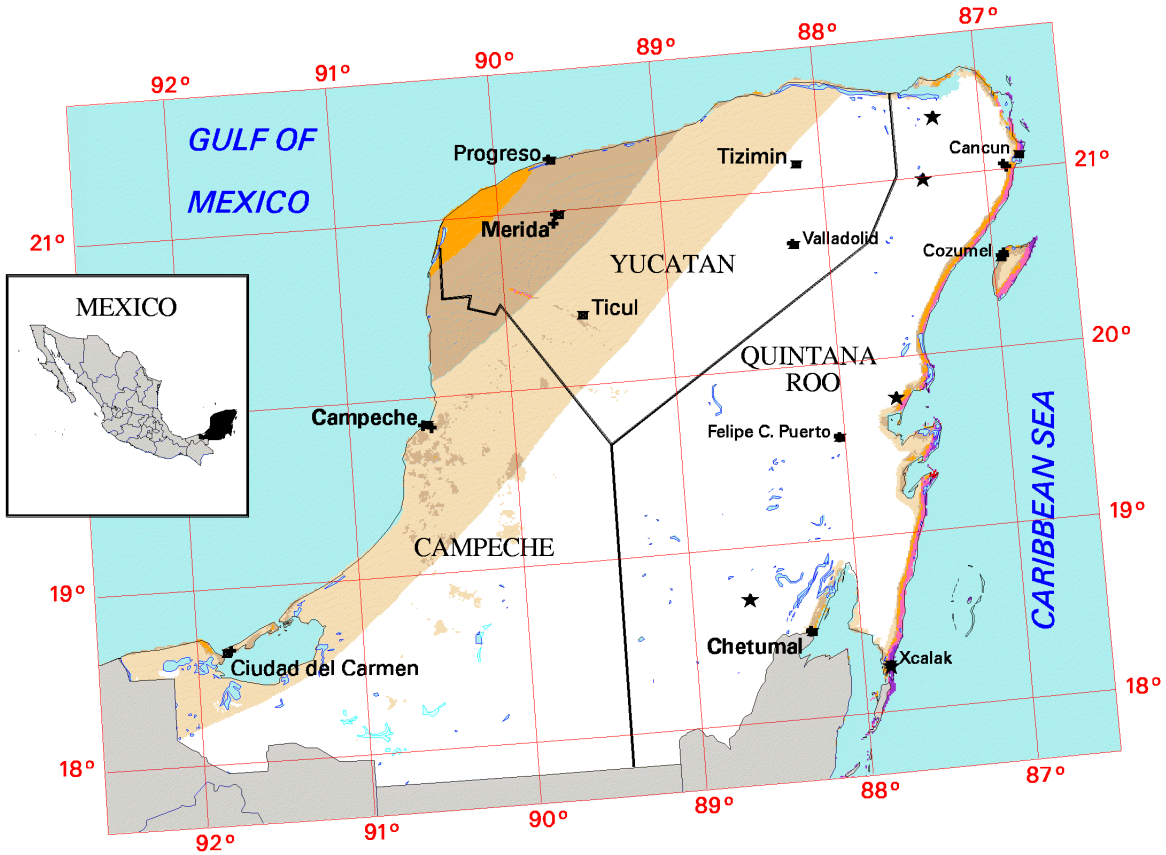
U.S. Department of Energy  
National Renewable Energy Laboratory



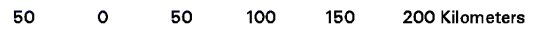
15-DEC-2000 2.2

Grafica A.5 Mapa de recursos eólicos para Baja California Sur.

# Mexico - Campeche, Quintana Roo and Yucatan Wind Resource Map



The wind resource classification is specific for both utility scale and rural applications and applies to areas with low surface roughness. Values of Weibull k in the Yucatan region vary from approximately 1.8 to 3.5, with highest values along the east coast.



Wind Power Classification			
Resource Potential		Wind Power Density at 30 m W/m <sup>2</sup>	Wind Speed <sup>a</sup> at 30 m m/s
Utility	Rural		
Marginal	Moderate	100 - 150	4.4 - 5.0
		150 - 200	5.0 - 5.6
Moderate	Good	200 - 250	5.6 - 6.0
		250 - 300	6.0 - 6.4
Good	Excellent	300 - 350	6.4 - 6.7
		350 - 400	6.7 - 7.0

<sup>a</sup> Wind speeds are based on a Weibull k value of 2.0.

- ✦ Meteorological Station with Wind Data
- ★ Additional Wind Measurement Site
- City or Village

U.S. Department of Energy  
National Renewable Energy Laboratory



08-DEC-2000 1.2

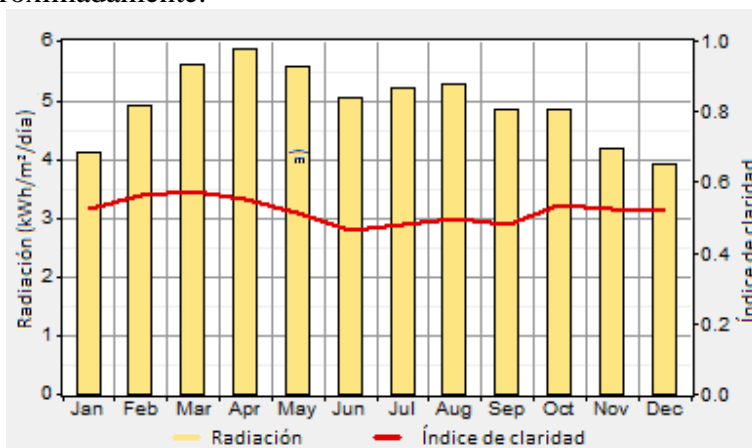
Grafica A.5 Mapa de recursos eólicos para los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

# Apéndice B. Gráficas de radiación solar, índice de claridad y precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos

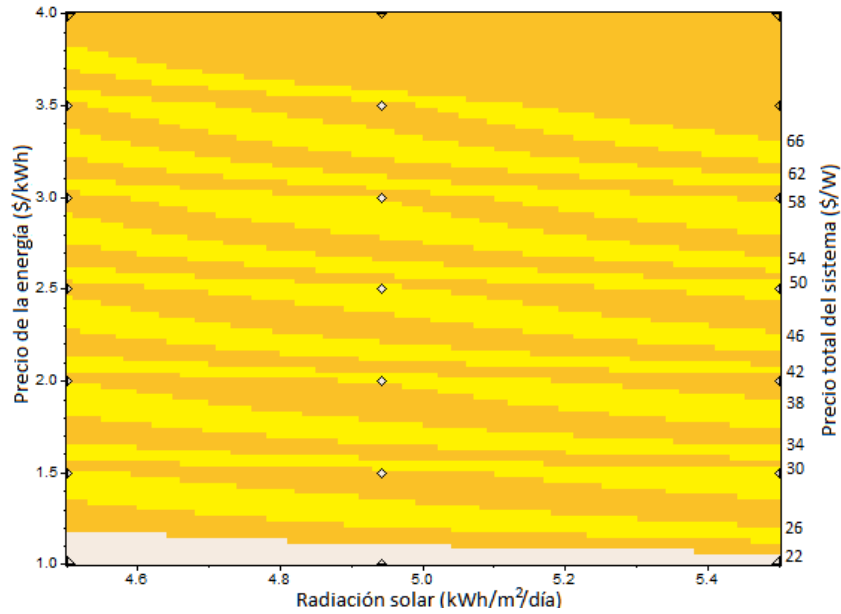
Durante el presente apéndice se muestran las gráficas de radiación solar, índice de claridad y la gráfica que resulta al realizar las diferentes simulaciones de rentabilidad económica con Homer al variar la radiación solar, el precio de arreglo de paneles fotovoltaicos y el precio de la energía eléctrica establecido por la compañía de luz. Las gráficas mostradas a continuación corresponden a algunos de los Estados de la República Mexicana como son: Campeche, Chiapas, Chihuahua, Guanajuato, Guerrero, Monterrey, Nayarit, Coahuila, San Luis Potosí, Sonora, Veracruz y Zacatecas.

## B.1 Campeche

En la gráfica B.1 se muestra la radiación solar que se tiene en el Estado de Campeche a lo largo del año, en el mes de abril se alcanza la máxima radiación solar con poco menos de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, mientras que para el mes de diciembre es un poco menor a los 4 kWh/m<sup>2</sup>/día, la radiación solar promedio es de 4.94 kWh/m<sup>2</sup>/día. El índice de claridad a lo largo del año es de alrededor de 0.5 alcanzando en el mes de marzo su máximo nivel con 0.6 aproximadamente.



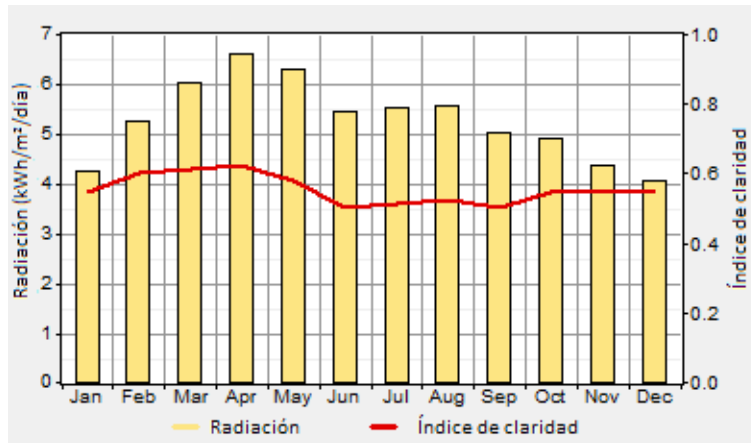
Gráfica B.1 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Campeche.



Gráfica B.2 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Campeche.

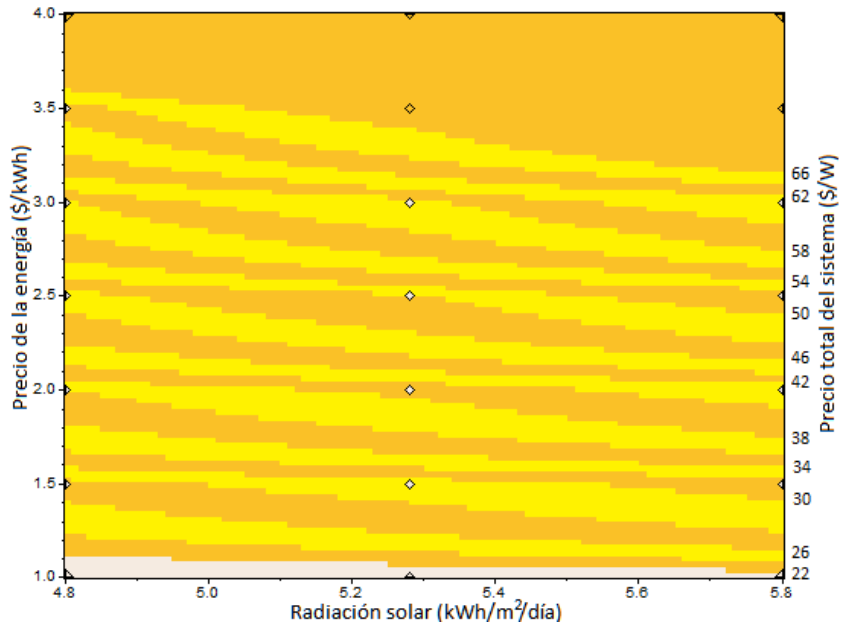
## B.2 Chiapas

Para el Estado de Chiapas la radiación solar promedio es de 5.28 kWh/m<sup>2</sup>/día, alcanzando su máximo nivel durante el mes de abril con poco más de 6.5 kWh/m<sup>2</sup>/día y su mínimo nivel durante diciembre con poco más de 4 kWh/m<sup>2</sup>/día; su índice de claridad es en promedio de 0.6 durante el año como se puede ver en la gráfica B.3.



Gráfica B.3 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Chiapas.

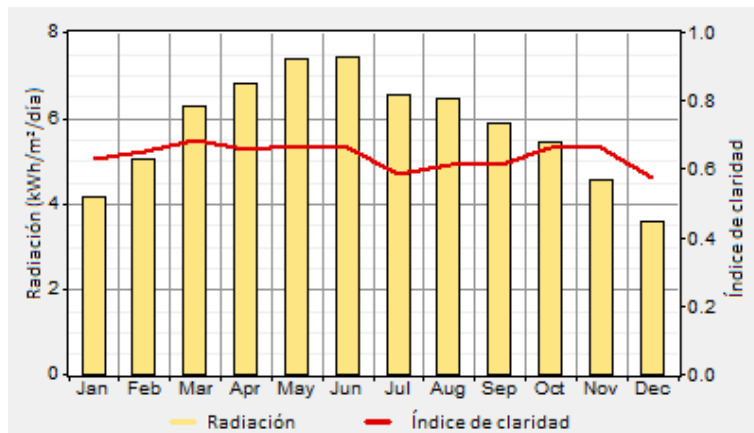




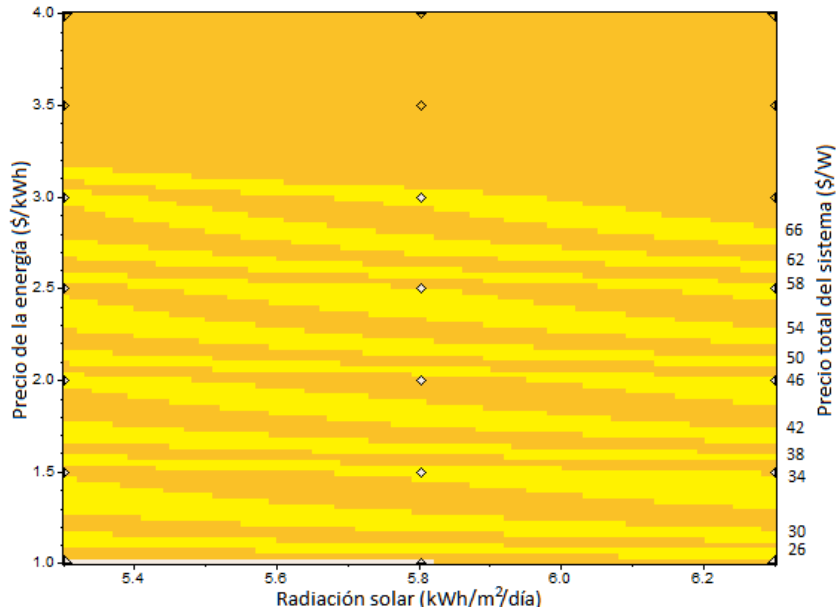
Gráfica B.4 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Chiapas.

### B.3 Chihuahua

La radiación solar máxima en el Estado de Chihuahua se alcanza durante los meses de mayo y junio con poco menos de  $7.5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , para el mes de diciembre cuenta con una radiación solar de aproximadamente  $3.5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , por lo cual, es el mes con menos radiación solar en el Estado, la radiación solar promedio durante el año es de  $5.80 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ ; el índice de claridad promedio durante el año es de aproximadamente 0.6 como se puede ver en la gráfica B.5.



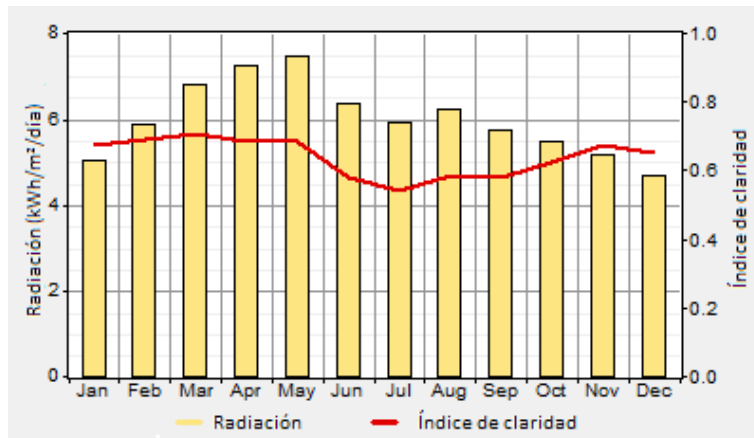
Gráfica B.5 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Chihuahua.



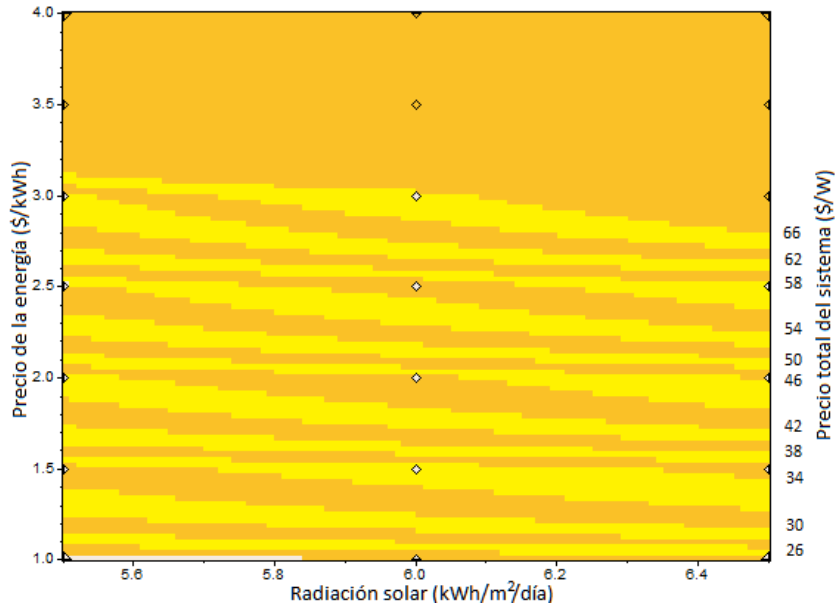
Gráfica B.6 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Chihuahua.

### B.4 Guanajuato

En la gráfica B.7 se muestra la radiación solar y el índice de claridad para Guanajuato. Durante el mes de mayo se tiene la mayor radiación solar con 7.5 kWh/m<sup>2</sup>/día y la menor radiación solar se da en el mes de diciembre con poco más de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, siendo la radiación promedio a la largo del año de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, el índice de claridad varía a lo largo del año entre 0.7 y 0.55.



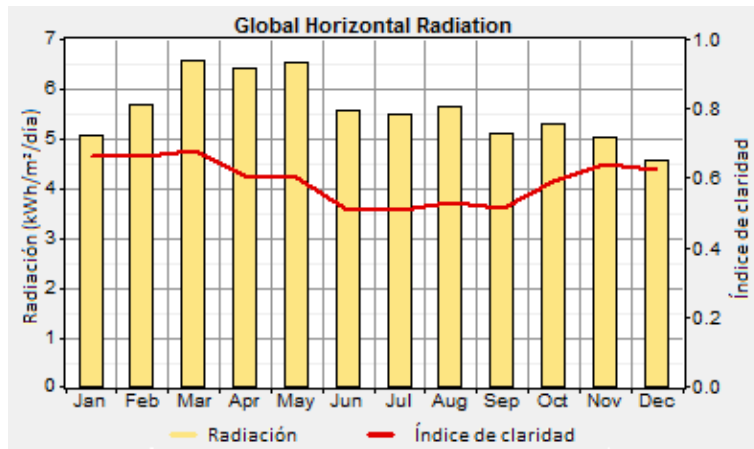
Gráfica B.7 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Guanajuato.



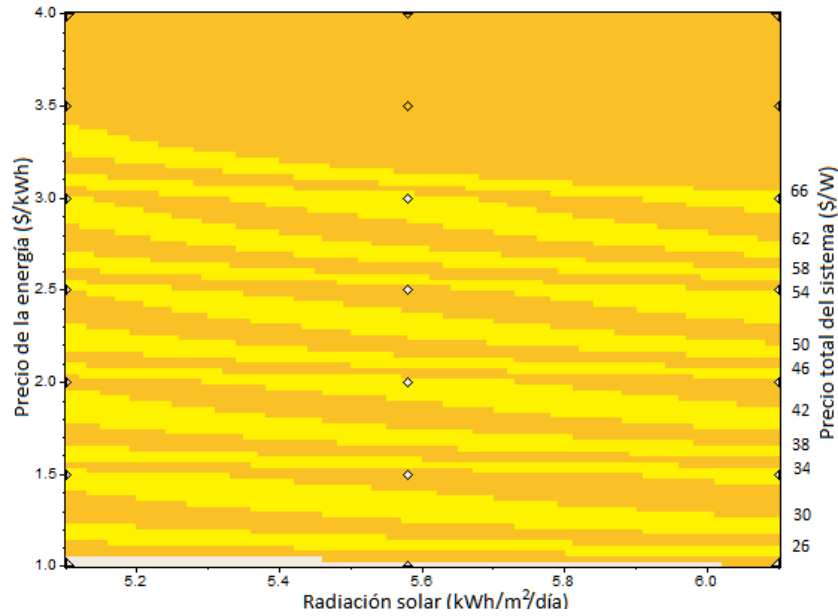
Gráfica B.8 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Guanajuato.

## B.5 Guerrero

Para Guerrero se alcanza la máxima radiación solar durante los meses de marzo, abril y mayo con aproximadamente 6.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, durante el mes de diciembre se tiene la menor radiación solar con poco más de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, por lo cual, la radiación solar promedio en el Estado es de 5.58 kWh/m<sup>2</sup>/día; su máximo índice de claridad lo tiene durante enero, febrero y marzo con aproximadamente 0.7, mientras que para junio, julio y agosto tiene su menor índice de claridad con 0.5 aproximadamente como se muestra en la gráfica B.9.



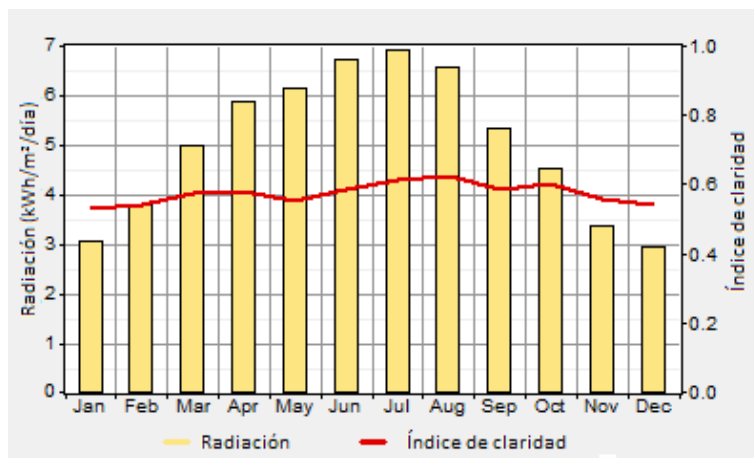
Gráfica B.9 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Guerrero.



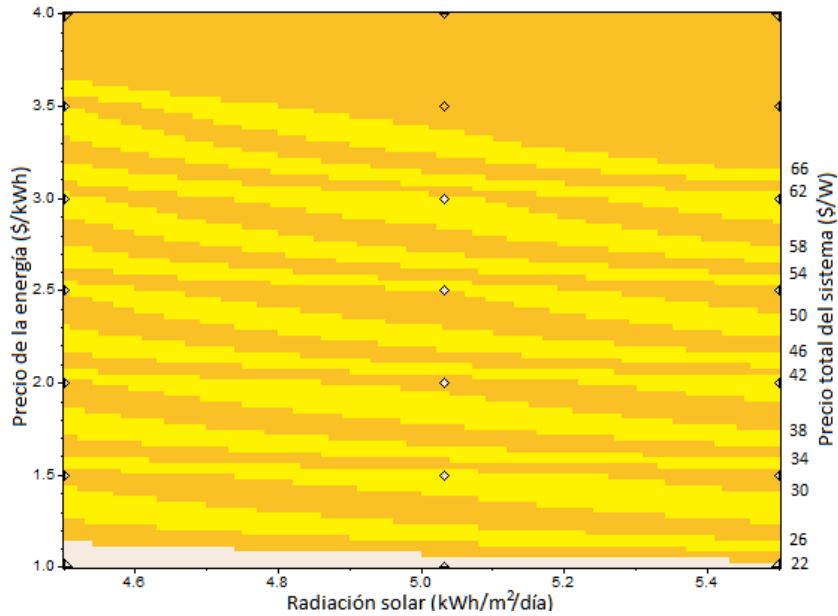
Gráfica B.10 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Guerrero.

## B.6 Monterrey

Durante junio, julio y agosto se tiene la mayor radiación solar en Monterrey con aproximadamente 6.75 kWh/m<sup>2</sup>/día, durante los meses de enero y diciembre se tiene la menor radiación solar con 3 kWh/m<sup>2</sup>/día aproximadamente, la radiación solar promedio en el Estado es de 5.03 kWh/m<sup>2</sup>/día; el índice de claridad se mantiene todo el año con un valor alrededor de 0.6 como se puede ver en la gráfica B.11.



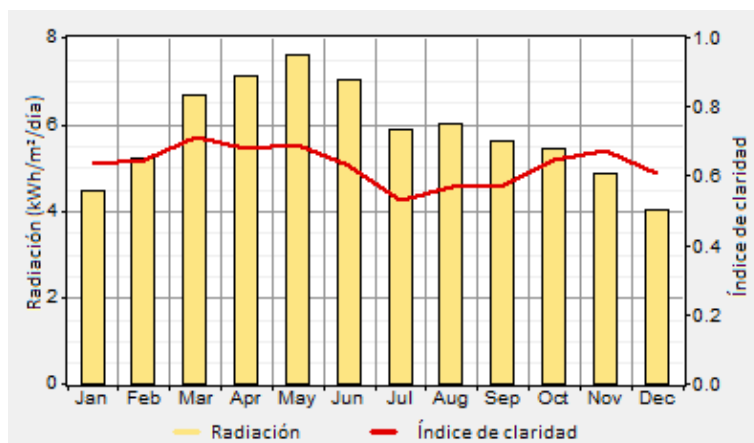
Gráfica B.11 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Monterrey.



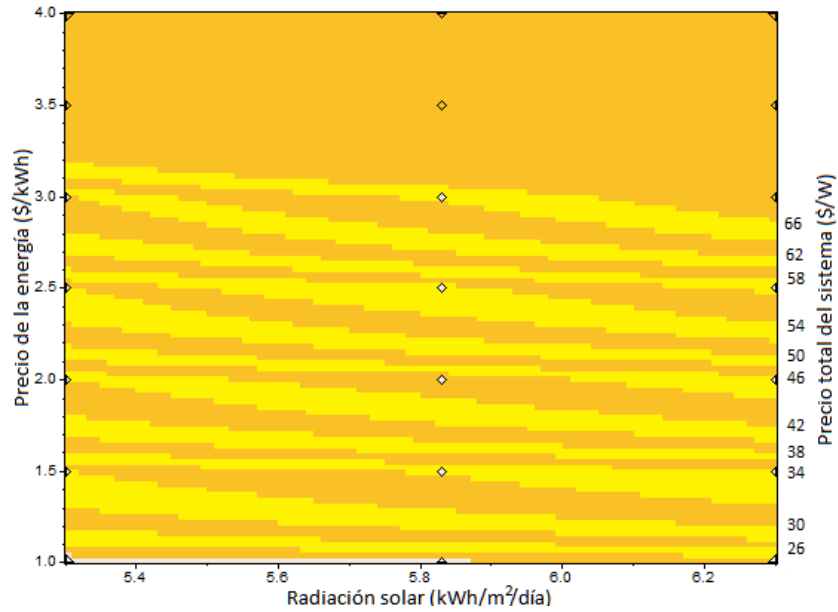
Gráfica B.12 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Monterrey.

## B.7 Nayarit

Para el Estado de Nayarit la radiación promedio es de 5.83 kWh/m<sup>2</sup>/día, alcanzando su nivel máximo durante el mes de mayo con poco más de 7.5 kWh/m<sup>2</sup>/día y su nivel mínimo durante el mes de diciembre con aproximadamente 4 kWh/m<sup>2</sup>/día; el índice de claridad va de los 0.7 en el mes de marzo a los 0.5 durante el mes de julio como se muestra en la gráfica B.13.



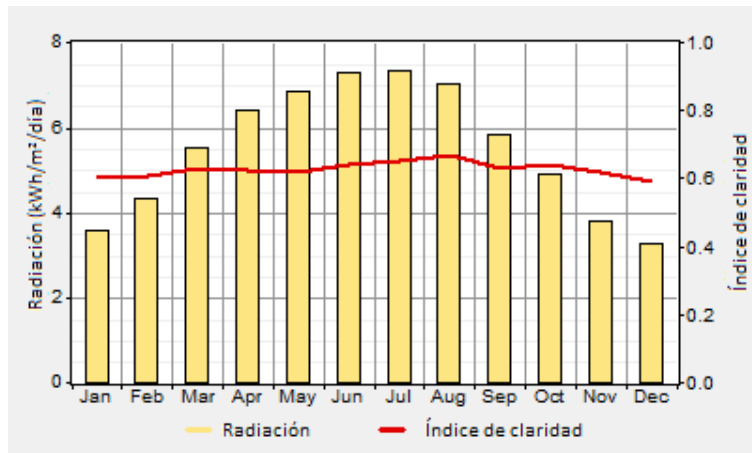
Gráfica B.13 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Nayarit.



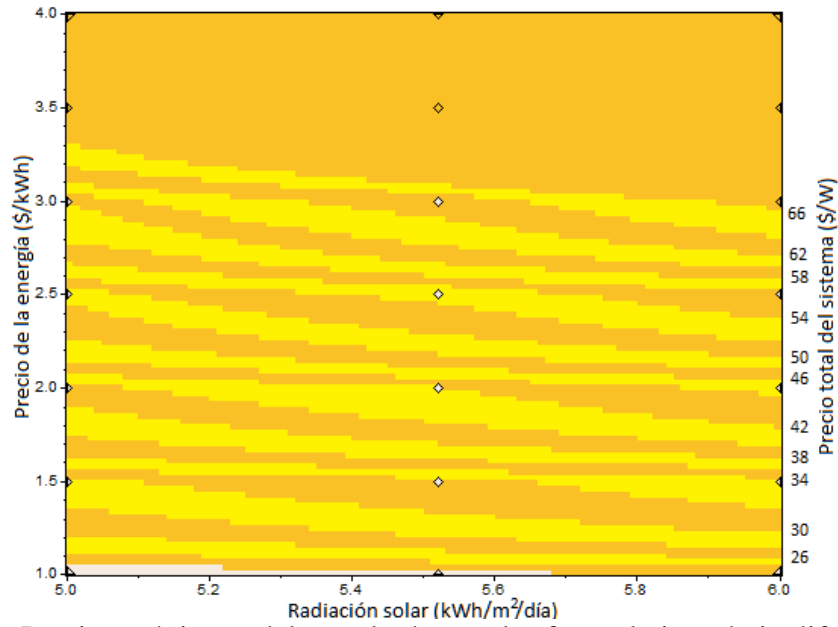
Gráfica B.14 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Nayarit.

## B.8 Coahuila

Para el estado de Coahuila se tiene la mayor radiación solar durante junio y julio con casi 7.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, para el mes de diciembre se tiene la menor con poco más de 3 kWh/m<sup>2</sup>/día, la radiación promedio en el Estado es de 5.52 kWh/m<sup>2</sup>/día; el índice de claridad se mantiene aproximadamente constante con 0.6 durante todo el año como se muestra en la gráfica B.15.



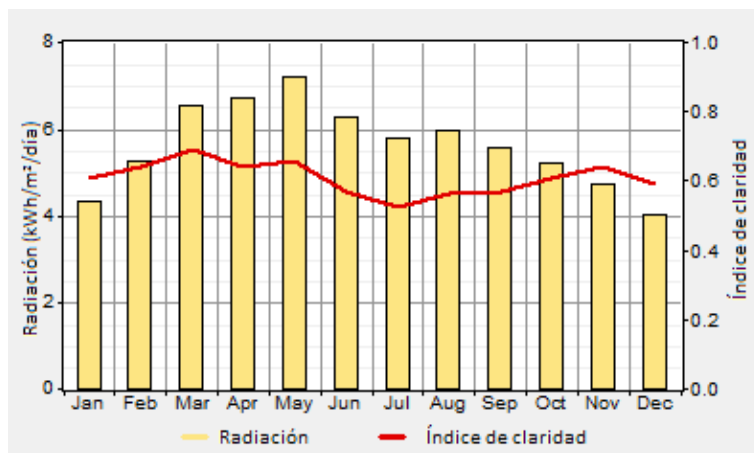
Gráfica B.15 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Coahuila.



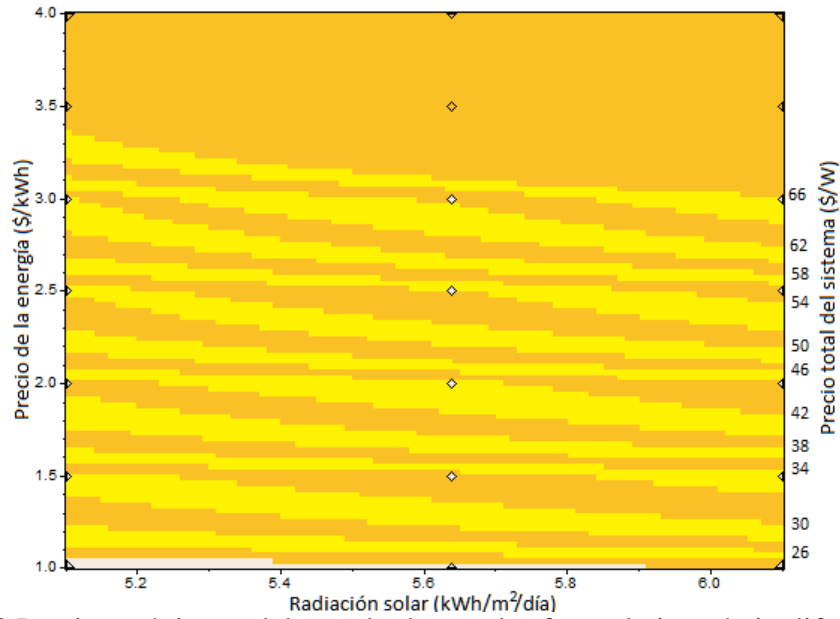
Gráfica B.16. Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Coahuila.

### A1.9 San Luis Potosí

El Estado de San Luis Potosí tiene una radiación solar promedio de 5.64 kWh/m<sup>2</sup>/día, alcanzando su máximo nivel durante mayo con poco más de 7 kWh/m<sup>2</sup>/día y su nivel mínimo en diciembre con 4 kWh/m<sup>2</sup>/día; el índice de claridad cambia a lo largo del año y se encuentra entre 0.7 para marzo y 0.5 para julio como se puede ver en la gráfica B.17.



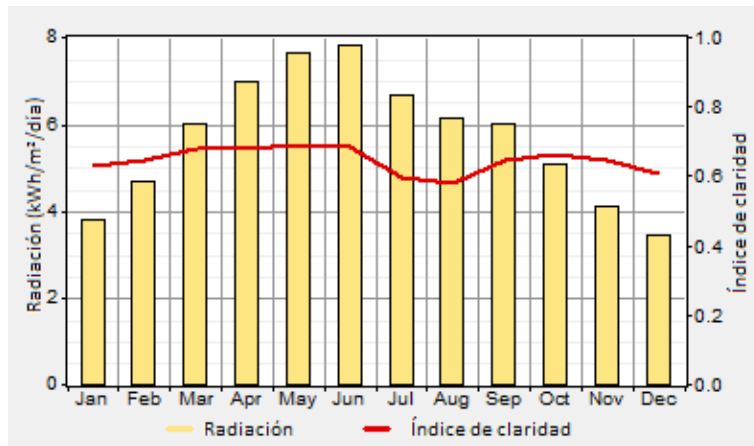
Gráfica B.17 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de San Luis Potosí.



Gráfica B.18 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en San Luis Potosí.

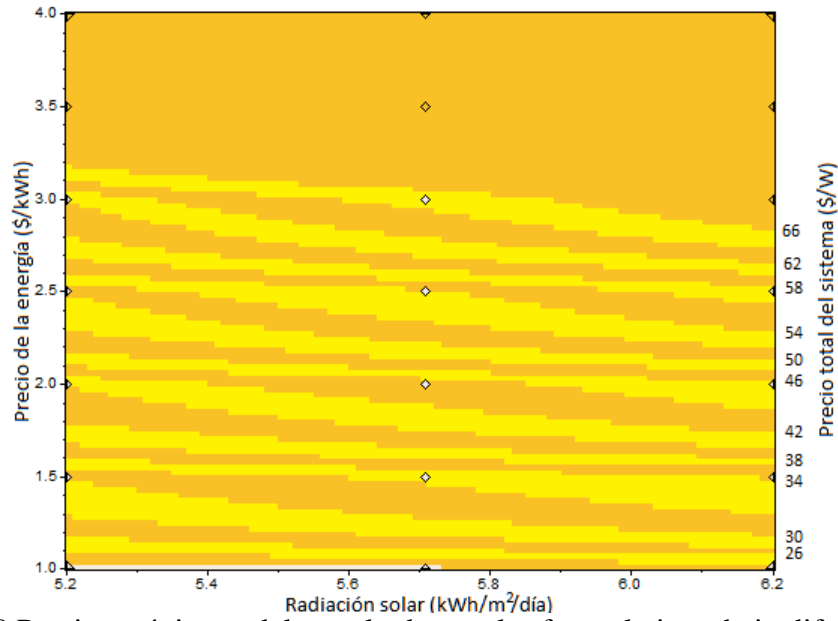
## B.10 Sonora

En la gráfica B.19 se muestra la variación en la radiación solar y el índice de claridad que se tiene en el Estado de Sonora, la máxima radiación solar se tiene durante mayo y junio con poco más de 7.5 kWh/m<sup>2</sup>/día mientras que para el mes de diciembre se tiene la menor con 3.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, la radiación solar promedio en el Estado es de 5.71 kWh/m<sup>2</sup>/día; el índice de claridad se encuentra entre 0.7 en junio y poco más de 0.5 en agosto.



Gráfica B.19 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Sonora.

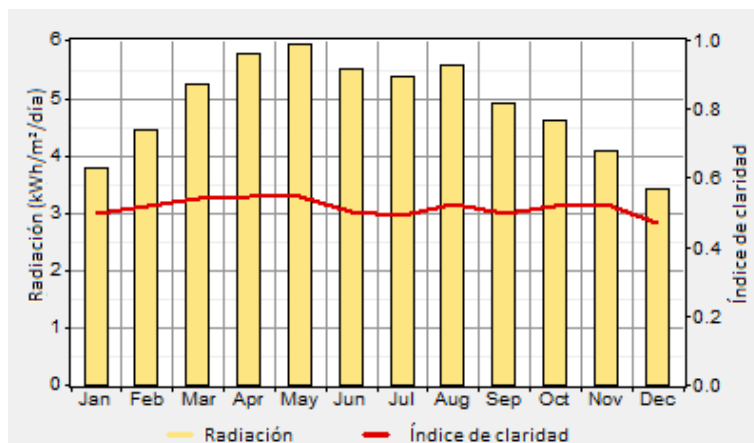




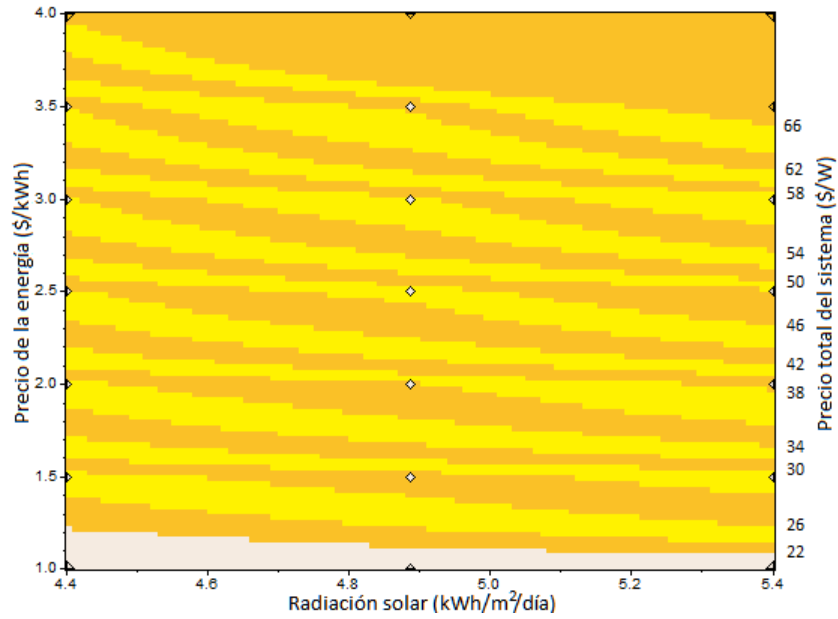
Gráfica B.20 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Sonora.

### B.11 Veracruz

La radiación máxima se alcanza durante los meses de abril y mayo, para el Estado de Veracruz, con casi 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, la mínima se da durante el mes de diciembre con poco menos de 3.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, la radiación promedio es de 4.89 kWh/m<sup>2</sup>/día durante el año; el índice de claridad es de aproximadamente 0.5 durante todo el año como se puede ver en la gráfica B.21.



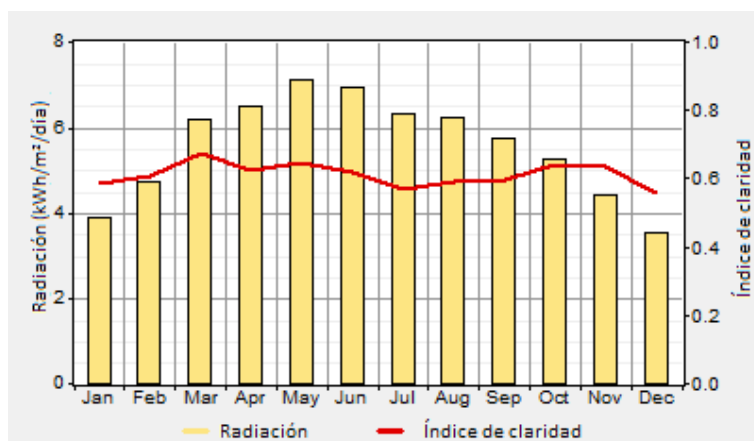
Gráfica B.21 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Veracruz.



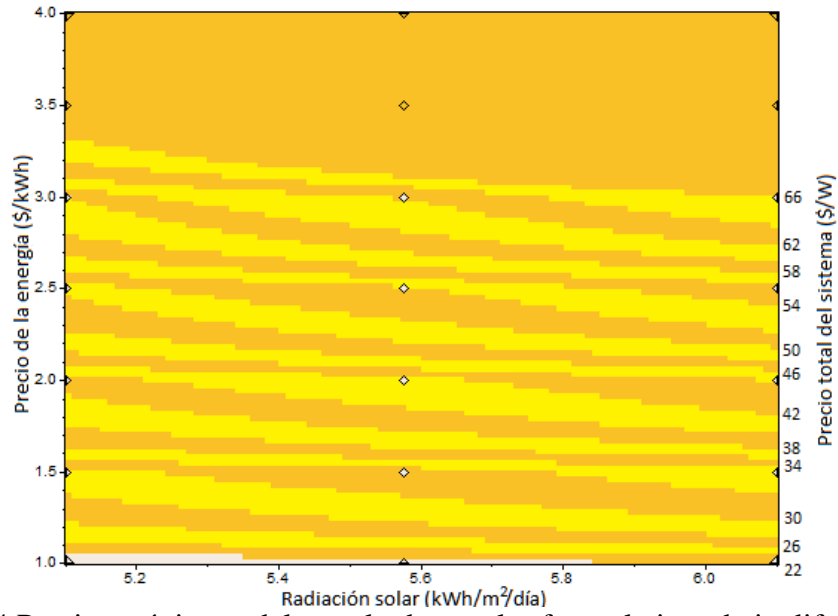
Gráfica B.22 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Veracruz.

## B.12 Zacatecas

Para el Estado de Zacatecas la radiación solar promedio es de 5.58 kWh/m<sup>2</sup>/día, durante los meses de mayo y junio tiene su máximo nivel con 7 kWh/m<sup>2</sup>/día aproximadamente, diciembre es el mes en que ésta es menor con 3.5 kWh/m<sup>2</sup>/día; el índice de claridad para el estado se encuentra entre 0.65 y 0.55 para marzo y diciembre respectivamente como se muestra en la gráfica B.23.



Gráfica B.23 Radiación solar e índice de claridad para el Estado de Zacatecas.



Gráfica B.24 Precios máximos del arreglo de paneles fotovoltaicos, bajo diferentes rangos de radiación solar y precios de energía eléctrica, para los cuales es rentable su instalación en Zacatecas.

# Apéndice C. Gráficas generales para la rentabilidad por tarifa eléctrica (TREMA=18%)

---

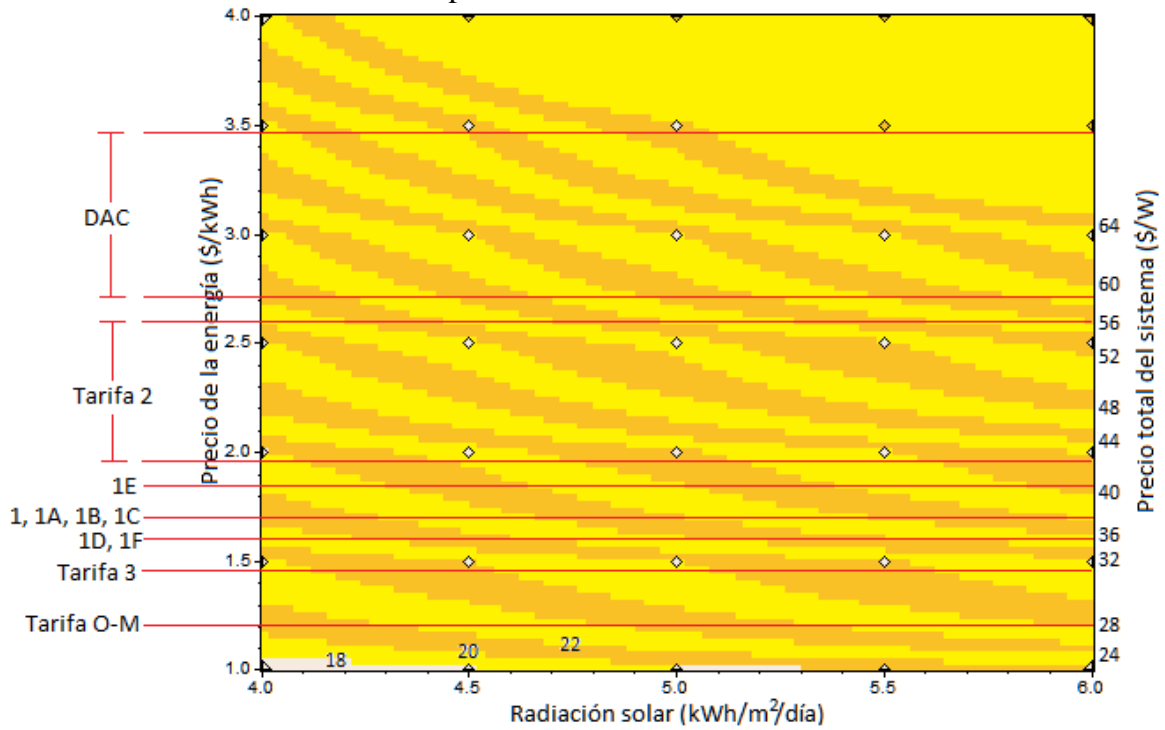
Para evaluar la rentabilidad de un proyecto es fundamental establecer de manera correcta una tasa de descuento, es decir, se necesita establecer la tasa de rendimiento mínima atractiva (TREMA) que se desea obtener al invertir en dicho proyecto.

Esta tasa de rendimiento mínima atractiva depende tanto del riesgo del proyecto así como del sector donde se realiza la inversión. En capítulos anteriores se evalúa la rentabilidad de la generación de energía eléctrica a base de energía solar y eólica en los sectores residencial y comercial en México fijando una TREMA del 6% ya que es una de las tasas de inversión más altas que otorgan los bancos, sin embargo, esta TREMA puede resultar poco atractiva para el sector comercial. Para el sector comercial es posible que una tasa del 6% no sea atractiva, ya que pueden contar con otros proyectos que tengan una TREMA mayor.

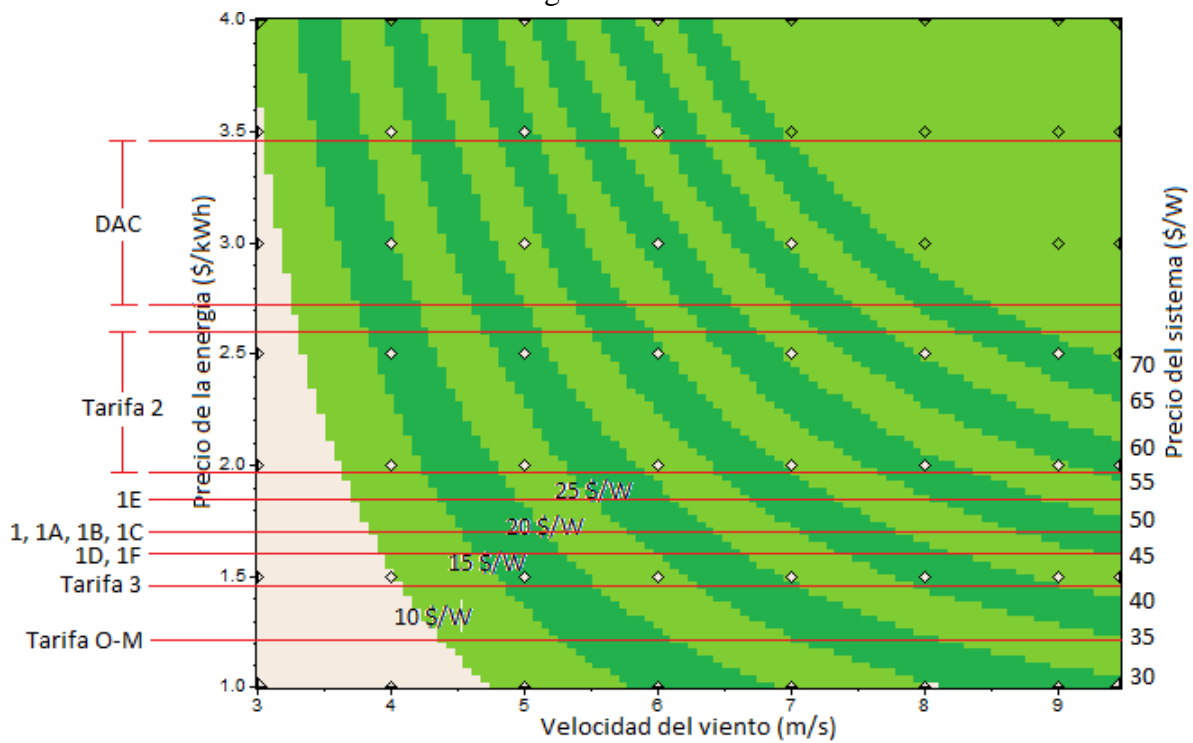
Durante el presente apéndice se realiza nuevamente el estudio calculando la TREMA como una tasa de interés libre de riesgo más una prima por el nivel de riesgo. La tasa libre de riesgo se toma como 6% que es la que se ha utilizado durante el presente trabajo y la tasa debida al riesgo que toma de 12% ya que para los proyectos de energía se suelen tomar tasas de entre 10% y 15%. Por lo tanto la TREMA que se toma para los análisis es de 18%.

En esta sección se muestran las gráficas generales para los precios máximos de los arreglos de equipos para generar energía eléctrica ya sea por medio de aerogeneradores o paneles fotovoltaicos, en dichas gráficas se muestran los rangos de precios del kWh que se tienen en las distintas tarifas, es decir, para la tarifa DAC dependiendo de la región del país el precio del kWh consumido va de los \$2.70 a los \$3.50 aproximadamente, para la tarifa 2 el rango de precio está entre \$1.95 y \$2.60 dependiendo del consumo de energía que se tenga, para la tarifa 1E el precio máximo que se paga por kWh es de \$1.85, para las tarifas 1, 1A, 1B y 1C el precio máximo que se paga por kWh consumido es de \$1.70, para las tarifas 1D y 1F el precio máximo por kWh consumido es de \$1.60 aproximadamente y finalmente para la tarifa eléctrica O-M el precio que se paga en promedio por kWh consumido es de \$1.20 aproximadamente.

Gráfica C.1 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos.



Gráfica C.2 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de aerogeneradores.

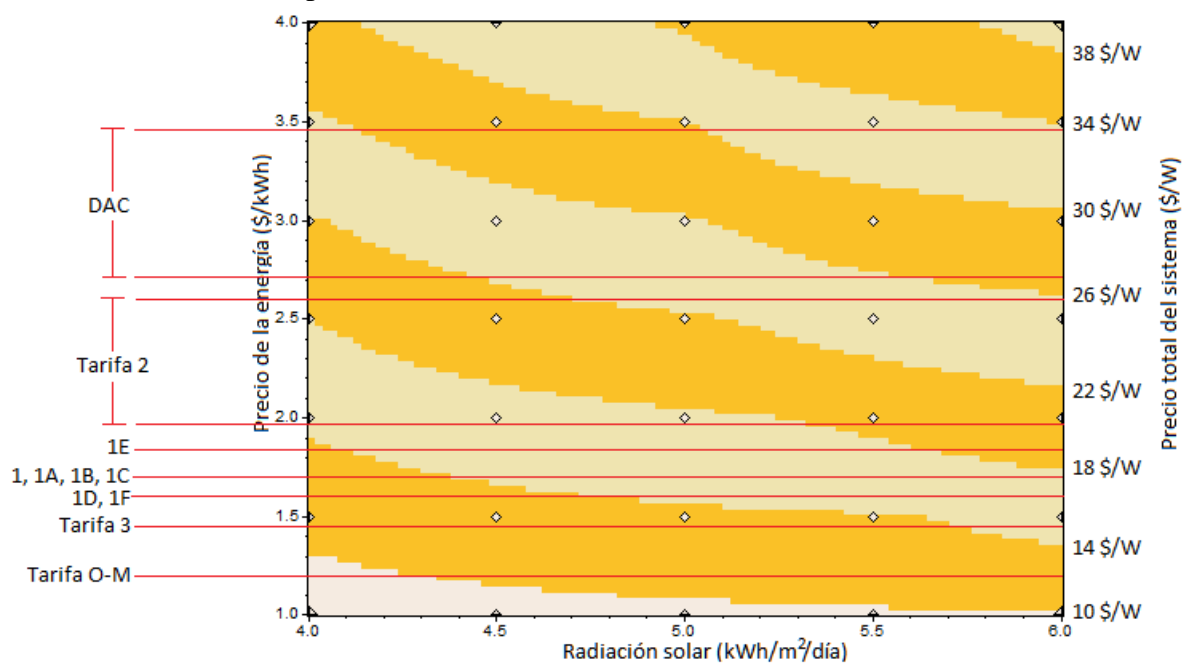


Las gráficas C.3 y C.4 se realizan tomando como tasa mínima de retorno aceptable (TREMA) 18%, como se puede ver el precio máximo del arreglo para instalar los aerogeneradores o los paneles fotovoltaicos tiene que ser menor que en el caso estudiando anteriormente con la tasa del 6%.

Comparando las gráficas C.1 y C.3 se puede ver que para producir energía eléctrica por medio de paneles solares cuando se fija una TREMA de 6% los precios del proyecto pueden ser mayores y resulta aún rentable mientras que para una TREMA del 18% los precios del proyecto tienen que ser menores para que resulte rentable, lo mismo ocurre para los aerogeneradores, este comportamiento se puede ver al comparar la gráfica C.2 y C.4.

Para aquellos que cuentan con alguna de las tarifas eléctricas comerciales, obtener una TIR un poco mayor a 6% al llevar a cabo alguno de los dos proyectos de generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables con seguridad es poco atractivo, ya que tienen la posibilidad de invertir ese capital en algún otro proyecto, como en la compra de CETES.

Gráfica C.3 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de paneles fotovoltaicos con una TREMA=18%.



Gráfica C.4 Precios máximos del arreglo para los cuales es rentable la instalación de aerogeneradores con una TREMA=18%.

