



Gobierno del
Estado de México



UAEM | Universidad Autónoma
del Estado de México

IEECC

Instituto Estatal de Energía
y Cambio Climático



Aprovechamiento
de la Energía

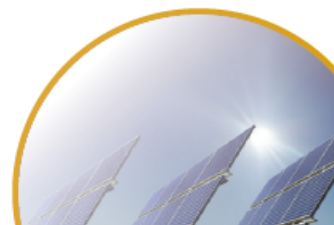
Solar Fotovoltaica en el Estado de México



Índice

Panorama de la energía solar y los sistemas fotovoltaicos

1. Sustentabilidad y Energías Renovables	4
1.1 Energía y sustentabilidad.....	4
1.2 Consumo de energía eléctrica.....	8
1.3 Aprovechamiento de la energía solar	9
2. Sistemas Fotovoltaicos	11
2.1 Energía solar y sistemas fotovoltaicos	11
2.2 Tipos de paneles solares	14
2.3 Uso de la energía solar fotovoltaica.....	15
2.4 Beneficios en la instalación de sistemas fotovoltaicos	15
2.5 Condiciones óptimas para el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas.....	16
2.6 Factores que afectan el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos.....	17
3. Casos de éxito en el uso de energía solar y sistemas fotovoltaicos	24
3.1 Alemania, el país líder en energía solar	26
3.2 Parques solares en el mundo	28
3.3 Energía solar fotovoltaica: Caso México	29
4. Marco normativo nacional y estatal en el uso de energías renovable	34
4.1 Reforma Energética.....	35
4.2. Modificación a Leyes derivadas de la Reforma Energética	37
4.2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	37
4.2.2 Ley del Impuesto sobre la Renta.....	39
4.2.3 Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica	39
4.2.4 Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica.....	39
4.2.5 Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovable y del Financiamiento de la Transición Energética	42
5. Estado de México	44
5.1 Elementos socioeconómicos y demográficos en el Estado de México	44
5.2 Elementos Geosistémicos en el Estado de México.....	47
5.3 Sistemas Atmosféricos y Geográficos del Estado de México.....	49
5.4 Radiación Solar en el Estado de México.....	52



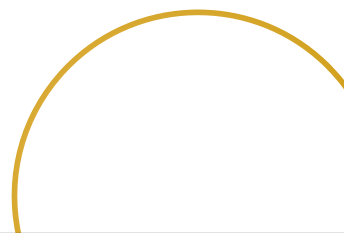
5.5 Distribución de la Radiación Solar en el Estado de México.....	54
5.6 Población Marginada en el Estado de México	55
5.7 Consumo de energía en el Estado de México	56
6. Casos de éxito de sistemas fotovoltaicos en el Estado de México	58
a) Sector Público - Conjunto SEDAGRO	59
b) Sector Privado - IUSASOL - Central Fotovoltaica 1 MW Pastejé	61
c) Sector Educativo Facultad de Ingeniería, UAEM.....	62
7. Análisis comparativo de sistemas fotovoltaicos instalados en el Estado de México.....	64
7.1 Resultados obtenidos de la comparación de la producción de energía específica (normalizada) generada en los sistemas fotovoltaicos instalados en el Estado de México	65
7.2 Análisis de la desviación estándar de la energía generada en los sistemas fotovoltaicos instalados en el Estado de México.....	66
7.3 Estimación del potencial fotovoltaico en los sistemas instalados en el Estado de México.....	67
7.4 Potencial fotovoltaico del sistema UAEM.....	69
7.5 Comparación de la producción específica de los sistemas instalados en el Estado de México vs los sistemas en otras entidades	70
8. Factibilidad de la instalación de sistemas fotovoltaicos en el territorio mexiquense.....	73
8.1 Modelación de la irradiación solar del Estado de México.....	73
8.2 Radiación solar estimada para los municipios del Estado de México.....	75
8.3 Beneficios al instalar celdas fotovoltaicas en el Estado de México	85
9. Estado de México, potencial generador de energía solar	87
10. Referencias	90
Colaboradores	93



Generalidades Energía y Sustentabilidad



Aprovechamiento de la Energía
Solar Fotovoltaica en el Estado de México



1. Sustentabilidad y Energías Renovables

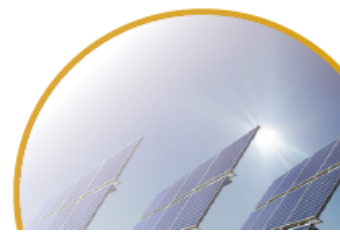
De acuerdo con diversos especialistas, el principio de **sustentabilidad** trata de la integridad ecológica, de la calidad de vida y de la transformación o la trascendencia en un lugar determinado. Es un delicado equilibrio entre el **desarrollo económico, el medio ambiente y el progreso social de una comunidad**, que puede ser una nación o todo nuestro planeta. Se mide con indicadores económicos, sociales y ambientales.

El concepto surgió por primera vez en la década de los años 70's, pero se posicionó en el escenario mundial en 1987 en la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) con el Informe Brundtland, donde el **desarrollo sustentable** se definió como: “el **desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades**” (Brundtland, 1987).

1.1 Energía y sustentabilidad

La **energía**, es un elemento esencial para el **desarrollo económico, social y ambiental de cada región o país**. Se considera que a falta de acceso a servicios energéticos se tiene un impacto directo en el crecimiento de los países, bajo la premisa: cuanto menor sea el acceso a la energía, menor será el crecimiento de la sociedad.

En consecuencia, la “**pobreza energética**” es una variable muy importante para el futuro próximo, por lo que el control de los gases emitidos a la atmósfera y otras sustancias será cada vez más apremiante y una cuestión a resolver debido a su relación directa con el cambio climático acelerado. Esta condición implica que deben aumentar las **mejoras** en la **producción, transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica** (Yuksel, 2008).



Se entiende por **fuentes renovables de energía** aquellos **recursos naturales con contenido energético suficiente**, llamadas fuentes primarias, **que puede ser transformado en combustibles y electricidad**, fuentes secundarias, que tienen un ciclo de recuperación compatible con el consumo humano, o que su disponibilidad es tan vasta que no se agotará en muchos años.

Las principales fuentes primarias de **energía renovable** son: solar, eólica, biomasa, hidráulica, geotérmica y oceánica. Mientras que las **energías no-renovables** son aquellas fuentes primarias de energía que se agotan en un tiempo corto con respecto al ritmo de consumo humano, las principales son: petróleo, gas natural, carbón, y minerales radiactivos.

En la figura 1, se muestra un esquema de las fuentes primarias de energía renovable y no-renovable, mientras que la tabla 1 describe de manera muy general en qué consiste cada una.

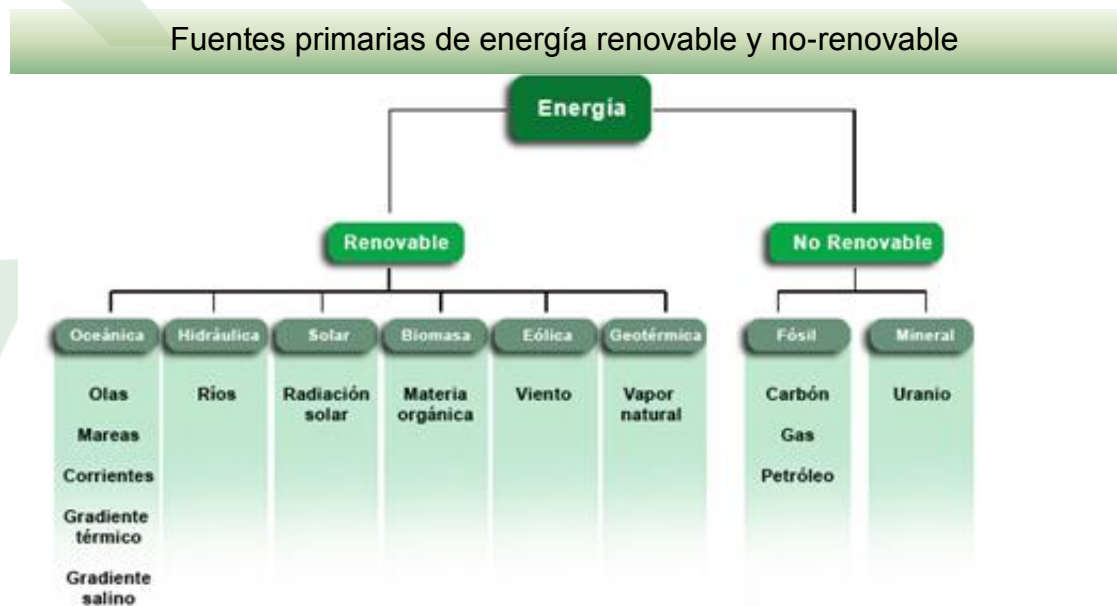


Figura 1 . Fuentes primarias de energía renovable y no-renovable
Fuente: SENER. Inventario Nacional de Energías Renovables, 2015

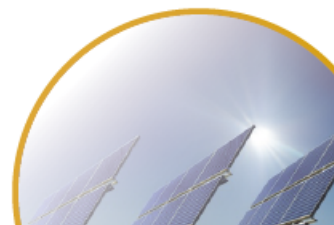


Tabla 1. Descripción de Tipos de Energías renovables

Energía	Descripción
Oceánica	Es la energía cinética y/o potencial que está contenida en las olas, mareas, y corrientes, así como la energía térmica en gradientes térmicos y la energía química en gradientes salinos.
Hidráulica	Es la energía potencial y cinética de un cuerpo de agua superficial que puede ser transformada en electricidad.
Solar	Es la energía radiante proveniente del Sol que puede ser transformada en aplicaciones térmicas o eléctricas.
Biomasa	Es la energía química acumulada en la materia orgánica de organismos, ya sean animales o vegetales, que puede ser aprovechada de forma térmica (gasificación, pirolisis, etc.) o bioquímica (fermentación, degradación anaerobia, etc.)
Eólica	Es la energía cinética del viento que puede ser aprovechada por acción de las corrientes de convección en la atmósfera baja.
Geotérmica	Es la energía térmica contenida en un acuífero que está sujeto a la influencia de una intrusión magmática cercana, lo que eleva su temperatura permitiendo su aprovechamiento.

Fuente: Elaboración de la Facultad de Ingeniería de la UAEM

Todas las fuentes primarias de **energías renovables** descritas en la tabla anterior son **susceptibles de transformarse en energía útil**, según sea el caso. En este contexto, las **energías renovables** son candidatos con un alto potencial para **satisfacer las necesidades energéticas de una región** de una manera **sustentable**.

Según datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el **sector de Energías Renovables**, a pesar de ser una industria reciente en México, **ha crecido favorablemente** en los últimos años, principalmente en energía eólica y en fechas recientes, se impulsa con mayor fuerza la **energía solar** (figura 2).



Proyectos en operación y en construcción para la generación de electricidad con energía renovables, 2012



Figura 2 . Proyectos en operación y en construcción para la generación de electricidad con energías renovables, 2012

Fuente: PROMÉXICO, Energías Renovables, 2013

En 2012, el país reportó una **capacidad instalada** en Energías Renovables para la generación de **14,501 MW¹ de electricidad**, pero se estima que esta **crecerá más del doble a 2026**, a una TMCA de 6.5% (tabla 2).

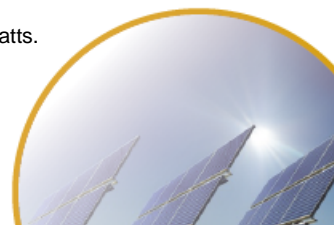
Tabla 2. Centrales de Generación de Energía Eléctrica con ER 2012 MW

Estado	Bioenergía	Eólica	Geotérmica	Hidráulica	Solar	Total
Oaxaca	33	2,499		39		2,571
Baja California		258	645	24	5	932
Tamaulipas	13	437				450
Veracruz	270	40		124		434
Nuevo León	28	274				302
San Luis Potosí	81	200			1	282
Michoacán	15		192	4		211
Jalisco	61			58	30	149
Chiapas	25	39		60		124
Puebla	15		52	39		106
Otros	205	2	10	118	156	491
Total	746	3,749	899	466	192	6,052

Fuente: PROMÉXICO, Energías Renovables, 2013

*Se excluyen las centrales hidroeléctricas mayores a 30 MW. Las cifras están redondeadas.

¹ Para medir la energía eléctrica se utiliza la unidad kilowatt hora (kW). Un megawatt (MW) es igual a 1,000 kilowatts.



1.2 Consumo de energía eléctrica en México

La planificación del abastecimiento de la demanda de electricidad es un tema de suma importancia para el futuro del país, considerando, por un lado, la necesidad de desarrollo económico de la nación y el crecimiento de la población, y por el otro, la asignación del capital para financiar dicho crecimiento.

La **Comisión Federal de Electricidad (CFE)** pronostica un **crecimiento** de la **demanda eléctrica de 5 a 6 % anual** en los próximos años, por lo que se requiere de un gran esfuerzo de **crecimiento en capacidad instalada de producción diversificada de electricidad**, pero con nuevos esquemas de desarrollo. Un objetivo básico para el sector eléctrico sería iniciar una transición de un sistema **centralizado a uno geográficamente distribuido**; disponiendo de recursos naturales, enfocado al uso de fuentes renovables de energía. En este esquema, se plantea una **reducción en el tamaño de las centrales generadora de energía eléctrica y su mayor dispersión geográfica**.

En el año 2014 el **consumo de energía en México** fue de 208,014,911.56 MWh, (SENER, 2014).

Principales entidades federativas consumidoras de energía en México

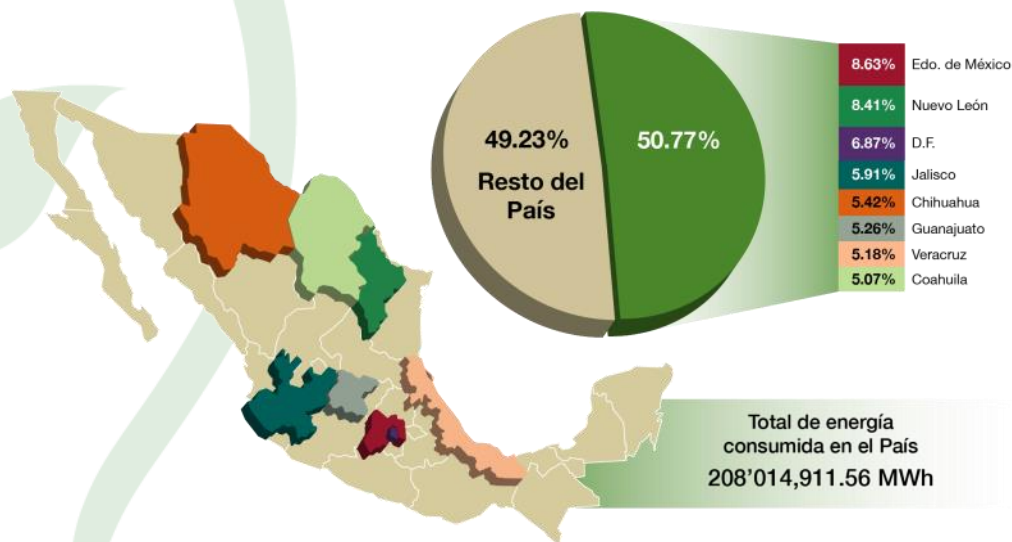
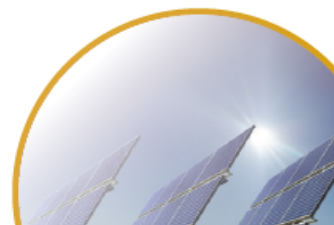


Figura 3. Consumo de energía en México
Fuente : SENER, 2014



Como se muestra en la figura 3, el **Estado de México** es el **principal consumidor de energía eléctrica del país**, seguido por Nuevo León, Distrito Federal, Jalisco, Chihuahua, Guanajuato, Veracruz y Coahuila, quienes en conjunto representan un poco más del 50% del consumo nacional.

1.3 Aprovechamiento de la energía solar

Sin duda, al generación de energía eléctrica debe beneficiar a todas las comunidades del país, sin importar donde se localicen. De esta manera, **se proporciona energía a la población** que sirve para **aumentar las capacidades productivas**, la **autogestión** y los **mecanismos de cooperación locales**. Con ello, se impulsa un proceso socialmente activador, para mejorar las condiciones de todos aquellos que aprovechen esa energía, elevando su calidad de vida y de las futuras generaciones.

Entre las fuentes renovables, las **tecnologías solares** provocan gran atención en todo el mundo. Se espera que **la tendencia de crecimiento** del uso de **estos desarrollos tecnológicos** para generar energía persista en los próximos años, lo que hace obligatoria la caracterización de herramientas específicas para la evaluación de la eficiencia de la tecnología solar.

En particular, **el aprovechamiento de la energía solar con tecnologías fotovoltaicas**, debe cumplir de manera satisfactoria con los atributos sistémicos que caracterizan a un **sistema de generación eléctrica sustentable**. Dichos atributos son: (Maserá, 2006):

- **Productividad:** se evalúa midiendo eficiencia, retornos promedio obtenidos y disponibilidad de recursos.
- **Estabilidad, confiabilidad y resiliencia:** se evalúan con la tendencia y variación del retorno promedio, con la calidad, conservación y protección de recursos, con la renovabilidad en el uso de recursos, con la diversidad espacial y temporal del sistema, con la relación entre ingresos al sistema y costo de oportunidad, con la evolución de empleos generados y con los mecanismos de distribución de riesgos



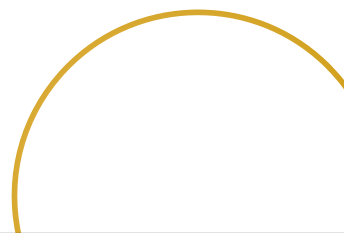
- **Adaptabilidad:** se evalúa con el intervalo de opciones técnica y económicamente disponibles, con la capacidad de cambio e innovación, y con el fortalecimiento de la relación entre el proceso de aprendizaje y la capacitación.
- **Equidad:** se evalúa con la distribución de costos y beneficios entre participantes y grupo objetivo, y con el grado de “democratización” en el proceso de toma de decisiones.
- **Autodependencia:** se evalúa con la forma de participación, la organización y con el control sobre el sistema y la toma de decisiones.



Sistemas fotovoltaicos



Aprovechamiento de la Energía
Solar Fotovoltaica en el Estado de México



2. Sistemas Fotovoltaicos

2.1 Energía solar y sistemas fotovoltaicos

La **energía solar** que recibimos en nuestro planeta llega a nosotros en **forma de ondas electromagnéticas**, lo que se conoce como **radiación**. Ahora bien, la **radiación solar total**, corresponde a la suma de la radiación directa, que es aquella proveniente del sol y que no ha sufrido dispersión por la atmósfera, y la radiación difusa sobre una superficie. La forma más común de medirla es sobre una **superficie horizontal** (NMX, 2006).

Para determinar la **cantidad de energía solar** que se capta **por unidad de superficie**, se utiliza la **irradiancia**, la cual se expresa en Watts por metro cuadrado [W/m^2]

Por otro lado, a la cantidad de **energía radiativa que incide sobre una superficie durante cierto tiempo y por unidad de área**, se conoce como **irradiación** durante un intervalo de tiempo dado, que puede ser por unas horas o por un día. Las unidades más comunes son Mega Joules por metro cuadrado y Kilowatts hora [MJ/m^2] o [kWh/m^2].

En este contexto, la radiación electromagnética que recibimos o que podemos **captar en celdas solares** se caracteriza directamente por **la longitud de onda** (λ). En otras palabras, los rayos solares incidentes que podemos aprovechar dependen inversamente de la magnitud de esta variable, es decir, **conforme la longitud de onda que llega a la tierra sea más pequeña, la energía recibida será mayor**.

Saber en qué intervalo de longitud de onda se localiza la radiación emitida por el sol es algo esencial. Tomando como base que la **temperatura promedio sobre la superficie del sol es cercana a los 6,000 K (Kelvin)**, que cerca del 99% de esta radiación llega a nuestro planeta y que podemos aplicar la Ley de Planck a este problema (Planck, 1914), llegamos a la conclusión de que **la radiación emitida es una mezcla de longitudes de onda** que oscilan entre 1.5×10^{-7} — 4×10^{-6} metros.



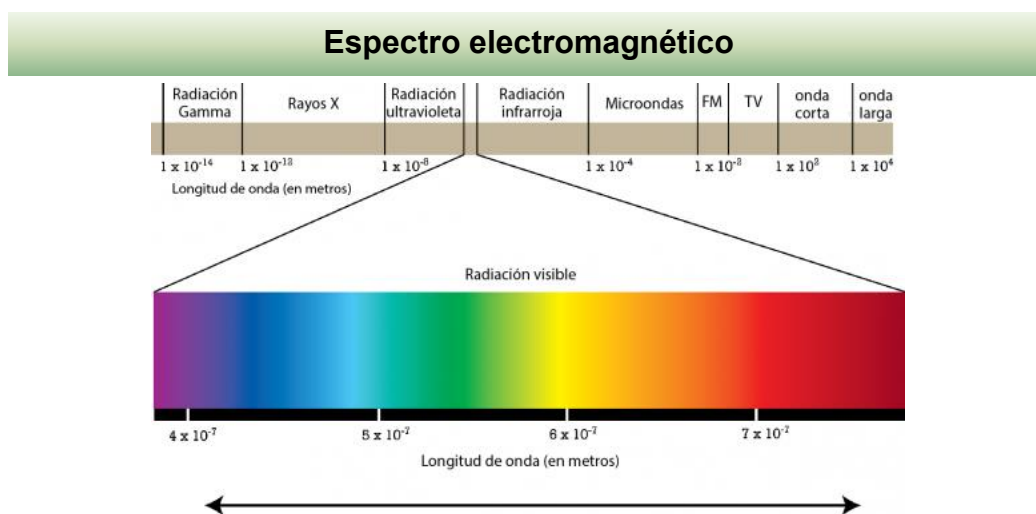


Figura 4. Espectro electromagnético
Fuente: Suaste, G. Acción del Espectro electromagnético. 2007.

Como se puede observar en la figura 4, esta longitud de onda corresponde a un rango que va de la radiación ultravioleta (9%), luz visible (42%) y la radiación infrarroja (49%). Sin embargo, hay que mencionar que existen otros factores como la **atmósfera terrestre**, por mencionar solo uno, que **no permiten el paso de longitudes de onda inferiores a 2.9×10^{-7} metros**. Esto último, nos **previene** de la **radiación ultravioleta** más energética que **provoca cáncer**, pero también nos **priva de una radiación con más energía** para ser aprovechada.

Una vez que conocemos el tipo de radiación que podemos utilizar, el siguiente paso consiste en entender **el efecto que nos permite convertir esa radiación incidente en energía eléctrica**. Este fenómeno es conocido como efecto **fotovoltaico** (Cohen, 2005). De manera simplificada, en este proceso se pueden obtener **electrones de un material a partir de hacerle incidir radiación electromagnética** (figura 5).



Efecto Fotoeléctrico de una celda fotovoltaica

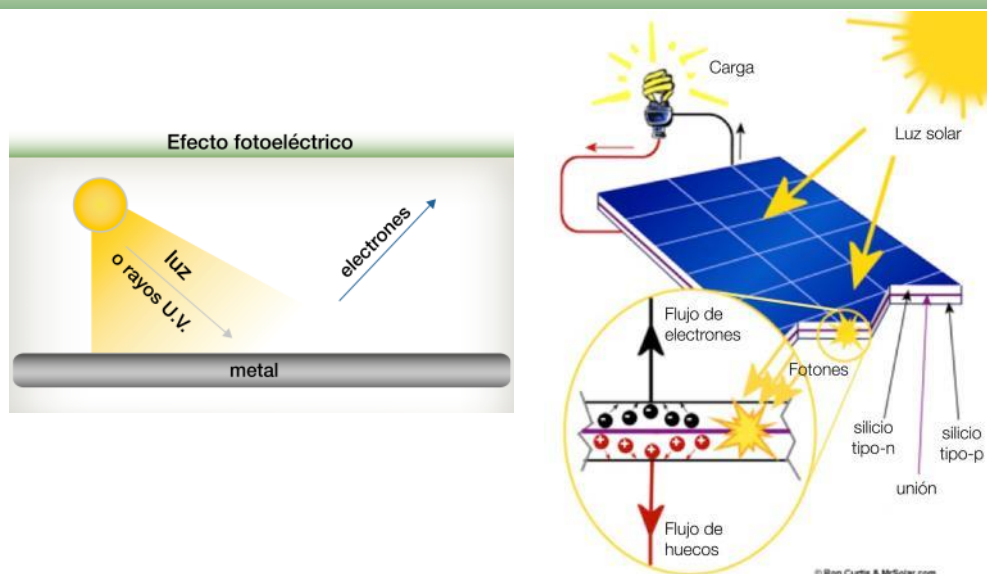
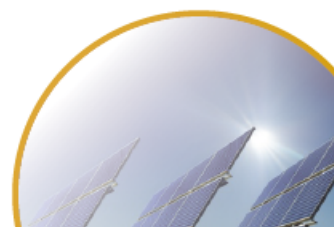


Figura 5 Efecto fotoeléctrico en una celda fotovoltaica
Fuente: Elaboración propia / Ron Curtis & Mr Solar.com

Un **sistema fotovoltaico, como lo son las celdas solares, produce energía eléctrica directamente de la radiación solar.** Las celdas fotovoltaicas comerciales, producen corriente continua a un voltaje que suele estandarizarse a 12 Voltios. Dependiendo de la forma en cómo se conecten los diferentes paneles solares, es posible obtener voltajes superiores. Si estos se conectan en series, es posible incrementar la corriente de salida.

Toda la **energía eléctrica captada durante el día es almacenada en baterías** para que pueda ser utilizada incluso durante la noche, o en días nublados, y no únicamente en días soleados. Con la finalidad de asegurar que no habrá desabasto energético, es necesario contar con varias de estas baterías.

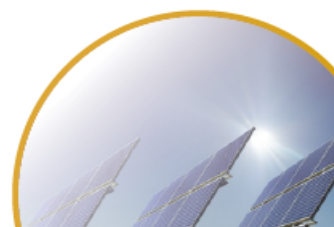


2.2 Tipos de paneles solares

En la actualidad existen **varios tipos de paneles solares que se venden de manera comercial**. Los paneles más comunes son los siguientes:

- ***Paneles de silicio puro monocristalino***: formados por una serie de cortes de una barra de silicio cristalizado, compuesto en un solo bloque.
- ***Paneles de silicio puro policristalino***: similar al monocristalino, con la diferencia en que al cristalizarse de forma distinta, la distribución de los cortes de la barra de silicio es menos uniforme.
- ***Paneles de silicio amorfo***: compuestos básicamente de silicio al igual que los dos anteriores, pero con la diferencia de no seguir una estructura de cristal. Se utiliza muy comúnmente para generar pequeñas cantidades de electricidad, como en un aparato de poco tamaño.
- ***Paneles de arseniuro de Galio***: más eficiente que los anteriormente mencionados, pero también de un costo más elevado.

Recientemente, se han creado celdas flexibles, transparentes y orgánicas y se han intentado distintos diseños que han incrementado su eficiencia.



2.3 Uso de la energía solar fotovoltaica

Las **aplicaciones** más conocidas de la **energía solar** fotovoltaica son:

- **Generación de energía** a gran escala conectada a la red
- **Luces** de señalización, luces de emergencia, balizas, lámparas portátiles
- **Cercos eléctricos** para ganadería o seguridad
- **Cargadores de baterías**
- **Telecomunicaciones** remotas
- **Bombas para agua** potable o irrigación
- **Depuradoras de aguas residuales**
- Sistemas de desalinización y potabilización de agua
- **Refrigeradores para vacunas**
- **Casas eco-tecnológicas** (techos completos de módulos fotovoltaicos)
- **Calculadoras, juguetes**

2.4 Beneficios en la instalación de sistemas fotovoltaicos

El principal **beneficio social** de una **instalación fotovoltaica**, cuando se trata de sistemas pequeños, es que puede ser **instalado en comunidades remotas, generando nuevas actividades económicas y fuentes de empleo** para instaladores certificados. Además de otros beneficios dependiendo del factor (tabla 3).

En cuanto al beneficio **económico**, es una nueva rama del sector comercial donde se pueden **crear empresas especializadas y certificadas para desarrollar instalaciones adecuadas**, lo que trae un **beneficio ambiental directo al disminuir el consumo eléctrico de la red**. Esto repercute en una disminución de la quema **de combustibles y de emisiones de gases de efecto invernadero**.

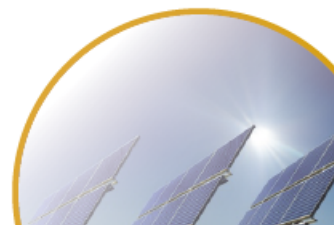


Tabla 3. Beneficios en la implementación de Sistemas Fotovoltaicos

FACTOR	BENEFICIO
Clima	Debido a que la generación de energía eléctrica a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, no se producen emisiones de CO2 que produzcan el efecto invernadero.
Geología	La mayoría de las células fotovoltaicas se fabrican con silicio , del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones al terreno.
Suelo	La incidencia sobre las características físico-químicas del suelo o su erosión es nula. al no producirse contaminantes, vertidos y movimientos de tierra,
Flora y Fauna	Al eliminar las redes de distribución de energía , se evitan efectos perjudiciales para las aves, la repercusión sobre la vegetación es nula.
Urbanismo:	Son un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras , minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.
Ruidos	El sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso , la diferencia de las plantas generadoras de motor..

Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2013

2.5 Condiciones óptimas para el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas

Actualmente existen estudios exhaustivos que muestran diferentes factores que pueden afectar el rendimiento máximo de una celda solar. A continuación se enumeran algunas de ellas.

- Altura sobre el nivel del mar.
- Contaminación del medio ambiente.
- Nubosidad.
- Humedad.
- Temperatura (en las celdas y en las baterías)
- Polvo y partículas depositadas sobre las celdas solares.



2.6 Factores que afectan el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos

a) Efecto de la temperatura del módulo

La **temperatura de operación** de los módulos fotovoltaicos (FV), juega un papel muy importante en el desempeño de los mismos. Tanto la **eficiencia, como la potencia de los módulos, dependen linealmente de la temperatura.**

Esto se debe a que la **temperatura afecta considerablemente tanto el voltaje como la corriente del módulo.** La figura 6, muestra gráficamente que al **aumentar la temperatura disminuye el voltaje de circuito abierto**, mientras que la intensidad de **corriente incrementa**. Este efecto, es más evidente para módulos fotovoltaicos elaborados de silicio policristalino y es menor, para aquellos elaborados de silicio amorfo o los HIT PV (por sus siglas en inglés), los cuales están formados de un tipo de celdas híbridas con una pequeña capa de silicio policristalino rodeado por una capa ultradelgada de silicio amorfo (Aste N. et. al. 2014).

Variación de la intensidad de corriente y voltaje de circuito abierto en un panel FV en función de la temperatura del módulo

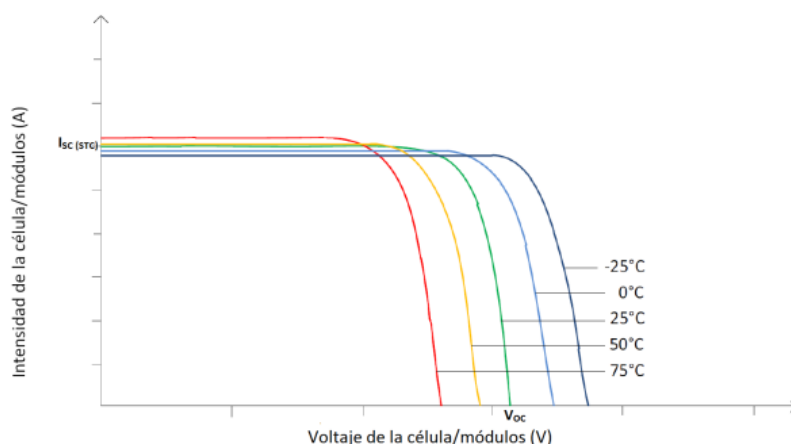


Figura 6. Variación de la intensidad de corriente y voltaje de circuito abierto en un panel FV
Fuente: Abella, Notas del Master en Energías Renovables y Mercado Energético, 2014



Así pues, es evidente que si la tensión de la célula disminuye cuando aumenta la temperatura y, la intensidad de corriente se mantiene prácticamente constante, entonces **la potencia de la célula disminuirá al aumentar la temperatura de la misma**. La figura 7, muestra esta variación en un panel fotovoltaico policristalino comercial.

Variación de la potencia en un panel FV policristalino, en función de la temperatura del módulo

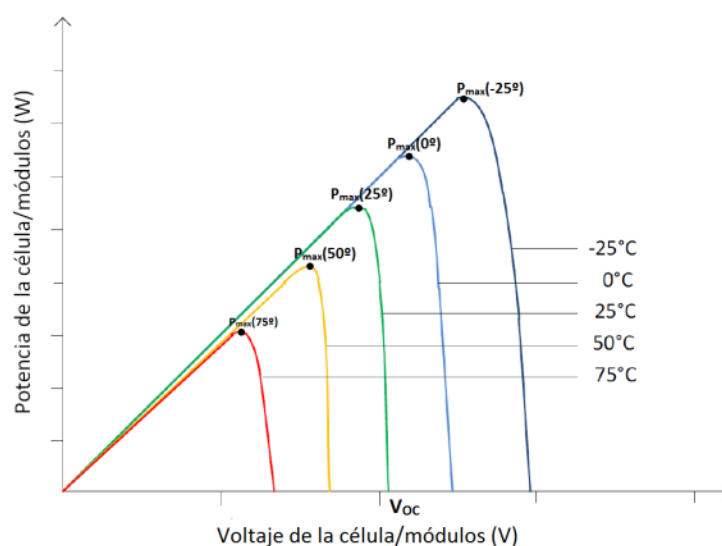


Figura 7. Variación de la potencia en un panel FV policristalino
Fuente: Abella, Notas del Master en Energías Renovables y Mercado Energético, 2014

Existen diferentes correlaciones que muestran de un modo simplificado la dependencia de la potencia con la temperatura, como la ecuación de Evans

$$\eta_c = \eta_{T_{ref}} [1 - \beta_{ref} (T_c - T_{ref})]$$

Donde

$\eta_{T_{ref}}$: Es la eficiencia eléctrica del módulo

T_{ref} : Es la temperatura de referencia, considerando una radiación de 1000W/m²

β_{ref} : Es un coeficiente de temperatura que depende del material del que se trate y para módulos policristalinos es de 0.004 K⁻¹. (Evans, 1981).



Ecuaciones como la anterior muestran que es **sumamente importante el efecto de la temperatura en la potencia**. Este tipo de factores deben considerarse al decidir de **qué forma instalarán los sistemas fotovoltaicos**.

Por otro lado, **la temperatura de trabajo de la célula** está íntimamente relacionada con la **temperatura ambiente y la irradiación** mediante la siguiente ecuación (Skoplaki, 2009).

$$T_c = T_a + G \left(\frac{NOCT - 20}{800} \right)$$

Dónde:

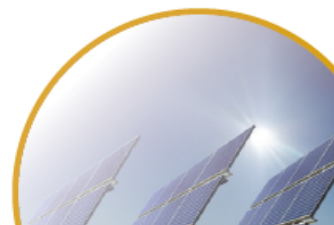
T_c : Es la temperatura de trabajo de la célula (°C)

T_a : Es la temperatura ambiente (°C)

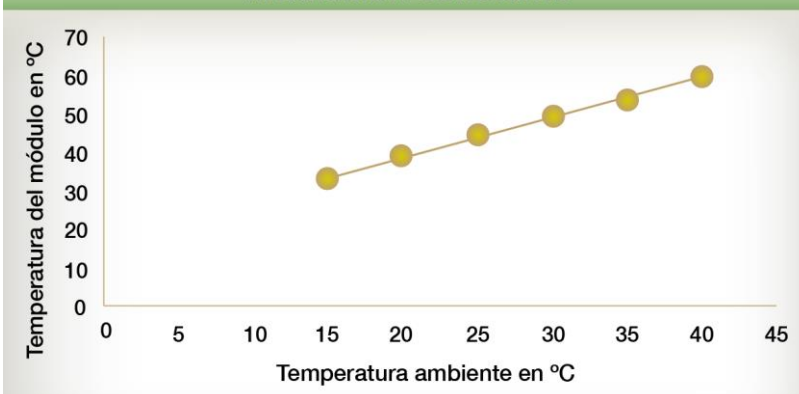
G: Es la irradiancia en W/m²

NOCT: Es la temperatura nominal de operación de la célula, un dato brindado por el fabricante y corresponde a una irradiancia de 800W/m², con orientación normal a la radiación incidente al medio día solar, temperatura ambiente de 20°C, velocidad de viento de 1m/s y funcionamiento en circuito abierto.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), realizó un análisis para medir el **efecto de la temperatura del módulo**, considerando un panel FV tipo con una **NOCT de 45°C** y una **irradiación constante de 600W/m²**. La gráfica 1 muestra **la variación de la temperatura de operación del módulo con la temperatura ambiente**.



Variación de la temperatura del módulo con la temperatura ambiente manteniendo la irradiación constante

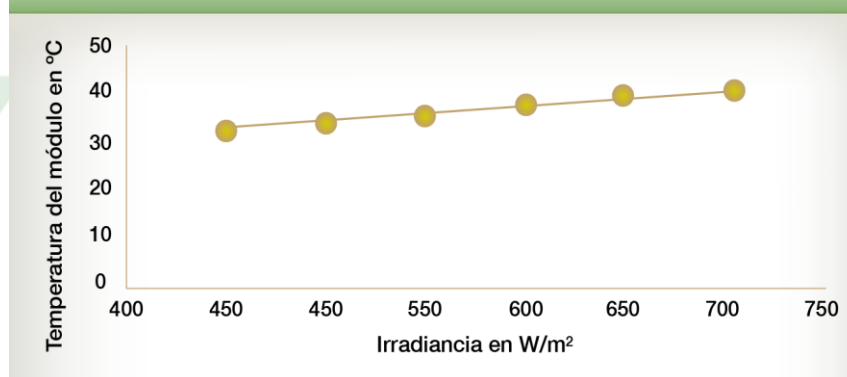


Gráfica 1 Ejemplo de la variación de la temperatura del módulo con la temperatura ambiente manteniendo una irradiación constante.

Fuente: Elaboración de la Facultad de Ingeniería de la UAEM

En otro ejercicio, la Facultad de Ingeniería, consideró una **temperatura constante de 18°C**, temperatura promedio del Estado de México, **variando la irradiancia**; se obtiene la variación de la temperatura del módulo y se muestra en la gráfica 2.

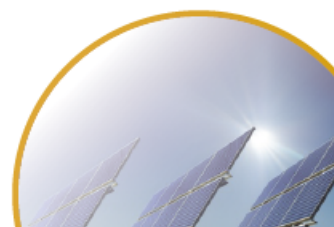
Variación de la temperatura del módulo con la irradiancia manteniendo a la temperatura ambiente constante en 18° C



Gráfica 2. Ejemplo de variación de la temperatura del módulo con la irradiancia manteniendo a la temperatura ambiente constante en 18° C.

Fuente: Elaboración de la Facultad de Ingeniería de la UAEM

Se puede observar comparando las gráficas 1 y 2 que **la temperatura ambiente tiene un efecto mayor que la irradiancia en la temperatura del módulo.**



Para el caso del **Estado de México**, debido a la gran altitud que tiene sobre el nivel del mar, las temperaturas promedio son de 18°C, se infiere que **el desempeño de los sistemas fotovoltaicos sería mejor en esta región que en zonas con mayor temperatura**, aun cuando presenten mejores niveles de irradiación.

La Facultad de Ingeniería de la UAEM concluye que, si se **correlacionan estos** datos con la irradiación global horizontal diaria promedio mensual en el Estado de México y considerando que los **mayores niveles de irradiación se presentan en los meses de invierno**, la instalación de **sistemas fotovoltaicos** en los **municipios mexiquenses** tendrían un **buen desempeño en los meses invernales**. Se determinó que en estos periodos se tendrá un muy buen desempeño, contrario a lo que sucede en los estados del norte.

b) Efecto del polvo en paneles fotovoltaicos

Los **sistemas fotovoltaicos** son altamente **sensibles a la suciedad y a las sombras**, sin embargo, por la falta de información muchos instaladores y diseñadores de plantas dan **poca importancia a este aspecto**, principalmente, cuando se trata de instalaciones en las cuales no se tiene un acceso fácil para la limpieza y el mantenimiento.

En ese sentido, la **evaluación del efecto de la suciedad y los depósitos de polvo** en los sistemas fotovoltaicos es de **suma importancia**. Este efecto debe tomarse más en cuenta **en zonas con poca lluvia y alta contaminación**, tal como sucede en las entidades federativas del **norte del país**. De hecho, actualmente **diversas investigaciones** están enfocadas al **desarrollo de superficies autolimpiables e impermeables** para la aplicación en paneles fotovoltaicos (Weber , 2014).



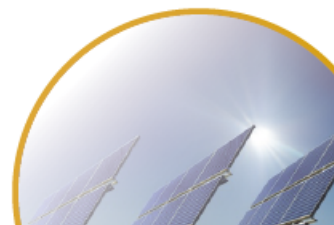
Un estudio realizado por Weber et. al. 2014, muestra el efecto que tienen: el polvo en el desempeño de los paneles y la lluvia como agente autolimpiante. En este trabajo, se estudió cómo la acumulación de polvo afecta a la transmitancia de radiación y se observó que esta puede **disminuir hasta en un 25%** con una acumulación de polvo de 25 días. Esto debido a que el **polvo produce un efecto de difracción de la radiación**.

Como conclusión de este estudio se observó que en condiciones climáticas en las cuales se tienen periodos mayores a **60 días sin precipitación pluvial**, la **concentración de polvo** si **tiene un efecto** importante sobre el **desempeño del módulo fotovoltaico**, llegando a tener una **disminución del índice de desempeño** de hasta un 3.6% anual.

Este aspecto **afecta** principalmente en **clima cálido-seco** como el que se presenta en la **zona norte del país**, donde se tienen periodos sin lluvia mayores a los 60 días. Sin embargo, en la **zona centro del país** y en el Estado de México, las condiciones de precipitación pluvial permiten la **autolimpieza** de los paneles y **apoyan favorablemente a su desempeño**.



Imagen 1 Efecto del polvo en panel fotovoltaico
Fuente: CONACYT, Agencia Informativa 2014



Por otro lado, si se habla de sistemas aislados, con sistema de baterías de respaldo, es importante considerar también el efecto que la alta temperatura puede tener en el desempeño de las baterías, principalmente de las plomo-acido, ya que **por cada 10°C de incremento en la temperatura, la vida de la batería se reduce la mitad**. Es decir, si la temperatura promedio de operación es 35°C, la vida de la batería se reduce en un 50%. **Por cada 10°C que aumenta la temperatura, la capacidad de la batería se reduce en un 10%**, es decir 1% por cada grado Celsius. Esto puede llegar a encarecer notablemente el costo de un sistema aislado, debido a que implica menor tiempo de reemplazo de las baterías (Abella, 2014).

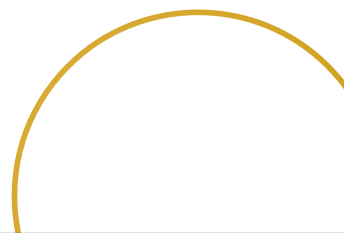
Considerando lo anterior, se aprecia que **las temperaturas promedio del Estado de México**, permitirían la **instalación de paneles fotovoltaicos con una eficiencia óptima y se ahorrarían costos de mantenimiento**.



Casos de éxito en el mundo



Aprovechamiento de la Energía
Solar Fotovoltaica en el Estado de México



3. Casos de éxito en el uso de energía solar y sistemas fotovoltaicos

En los últimos 5 años, la producción de energía renovable a nivel mundial ha crecido sustancialmente, esto **derivado de las políticas públicas que los países han adoptado para incrementar la participación de las “energías limpias”** en su sector energético.

Durante este período, la producción, distribución e instalación de **energía solar fotovoltaica ha tenido una tasa de crecimiento mayor** que el resto de las energías renovables. Tan sólo en 2013, el mercado mundial de la energía solar fotovoltaica tuvo un crecimiento de **39%** respecto al año anterior, al pasar de una capacidad fotovoltaica de 100 GW (Gigawatt) ² en 2012 a **139 GW en 2013**. (Tabla 4)

Tabla 4. Capacidad instalada para la generación de electricidad 2013

Tipo de energía	Capacidad instalada GW	Variación 2012-2013
Hidráulica	1,000	4%
Eólica	318	12%
Biomasa	88	6%
Solar fotovoltaica	139	39%
Geotérmica	12	4%
Solar de alta concentración	3.4	36%
Mareomotriz	0.5	0%
Total	1,560.9	8

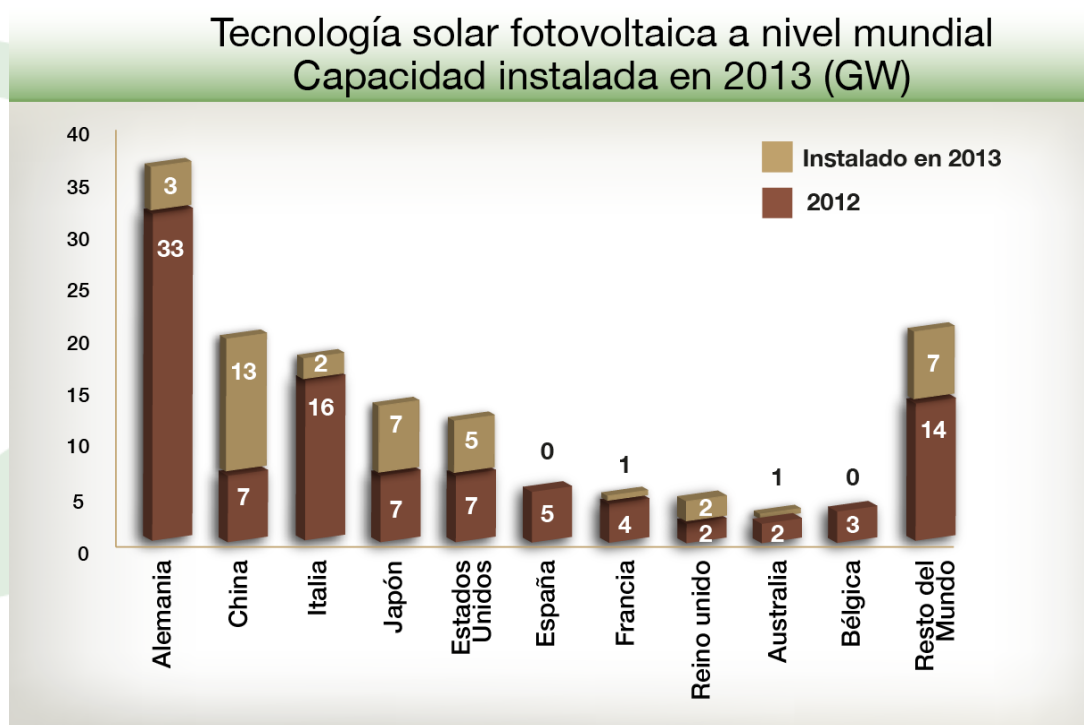
Fuente: Renewables Global Status Report, 2014

² 1 Gigawatt equivale a 1000 MW

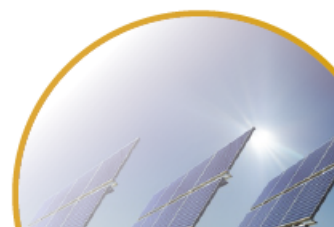


A nivel mundial, **Europa** es la región con **mayor aplicación y desarrollo de energía solar fotovoltaica** con más de **80 GW** de capacidad instalada en 2013. En esta zona, se encuentra **Alemania que es el país con la mayor capacidad** registrando **36 GW**, en 2013, además de **Italia** (tercer lugar a nivel mundial) con 18 GW, España con 6 GW, Francia con 5 GW, así como el Reino Unido y Bélgica con 3 GW cada uno (tabla 4).

El segundo país con mayor infraestructura fotovoltaica es **China**, que tan sólo en 2013 instaló 12.9 GW, casi triplicando lo registrado el año anterior (7 GW) quedando en **20 GW** (gráfica 3).



Gráfica 3 Tecnología Solar Fotovoltaica
Fuente: Renewables Global Status Report, 2014



3.1 Alemania, el país líder en energía solar

La mayor parte del territorio de Alemania se encuentra cerca del círculo polar Ártico. El país tiene un **clima templado**, sin períodos de frío o calor extremo. En algunas zonas predominan los vientos húmedos del oeste. En promedio, la temperatura es de **9° C**.

Los mapas de radiación solar indican que Alemania, es un país con **poca irradiación 3.2 kWh/ m²** promedio anual (figura 9) a pesar de ello, Alemania es el país líder en producción mundial de energía solar. Actualmente, representa el **26% de la capacidad de producir energía solar fotovoltaica en el planeta** (Renewables Global Status Report, 2014). En 2013, registró un total de 36 GW de capacidad instalada.

Radiación promedio anual en Alemania

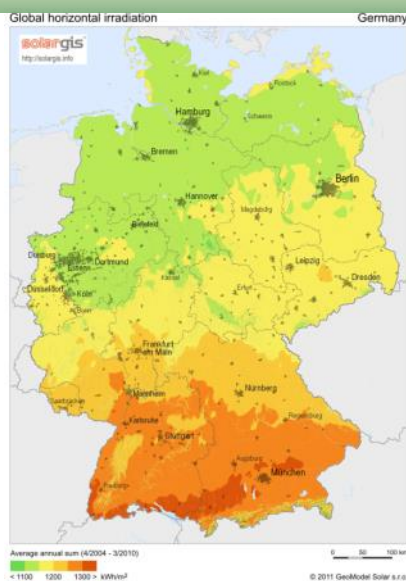
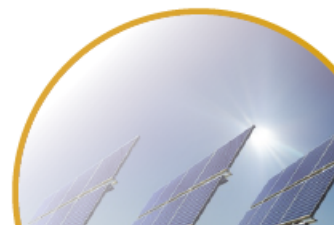


Figura 8 Radiación promedio anual en Alemania

Fuente: SolarGIS, Maps of Global horizontal irradiation (GHI), 2011



El crecimiento del mercado de energía solar alemán, se encuentra relacionado a la introducción de la “**Ley de Energías Renovables**” en el año 2000, la cual promueve la generación de electricidad a partir de fuentes de “energía limpia”, la reducción de los costos de suministro de energía a la economía a nivel nacional, además de fomentar el desarrollo sostenible.

Las metas del gobierno alemán para 2020 son **eleva el porcentaje de las energías renovables en un 30% y reducir las emisiones de carbono en un 40%**.

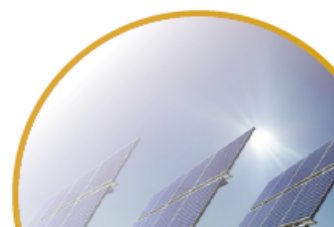
Parque Solar “Neuhardenberg”

El parque energía solar “Neuhardenberg” es el **proyecto de energía solar fotovoltaica más grande de Alemania**. Situado en el antiguo aeropuerto militar de Oderbruchstraße, en Neuhardenber, comenzó sus operaciones en 2012 con más de **600,000 paneles solares**, distribuidos en 35 hectáreas, con una capacidad instalada de **145 MW**.

En total, sus instalaciones generan aproximadamente **19.6 GWh de energía renovable**, permitiendo proporcionar electricidad limpia para 48,000 hogares. Se considera el parque solar más grande de Europa, el cual logra reducir hasta 12,700 toneladas de CO₂ al año.



Imagen 2. Parque Solar Neuhardenberg



3.2 Parques solares en el mundo

a) Desert Sunlight Solar Farm

Es el **parque solar más grande del mundo**. Se encuentra ubicado en el Condado de Riverside, California, en Estados Unidos. Inició operaciones en 2015, con más de **9 millones de celdas solares** instaladas con una potencia de **550 MW**. Tendrá la capacidad de suministrar energía a 160,000 hogares y se espera evitar 300,000 toneladas emisiones de dióxido de carbono cada año.



Imagen 3 Parque Solar Desert Sunlight Solar Farm, Riverside, California

b) Topaz Solar Farm

El proyecto **Topaz Solar**, está ubicado en el condado de San Luis Obispo, California, Estados Unidos. Inició operaciones en 2014 con un total de **9 millones de paneles fotovoltaicos con una potencia de 550 MW**, distribuidos en 26 km². Este parque tiene la capacidad de suministrar energía a 160,000 hogares y ahorra un total de 377,000 toneladas de emisiones de CO₂ al año.



Imagen 4 Proyecto Topaz Solar, San Luis Obispo, California, Estados Unidos.



c) Longyangxia

La planta solar de Longyangxia, es la más grande de China, está ubicada en la provincia de Qinghai, y es la estación más grande de tecnología mixta hidro-solar del mundo. Con un área de 9.16 kilómetros cuadrados. Su construcción empezó en 2013 y tiene una capacidad instalada de 320 MW.

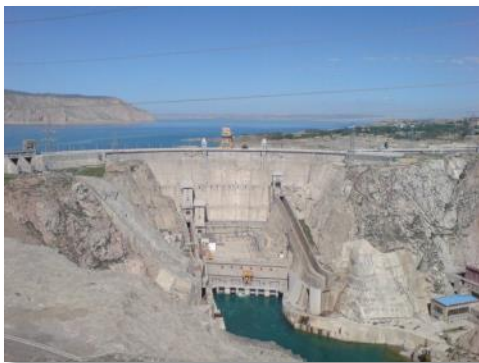


Imagen 5 Planta solar de Longyangxia, Qinghai, China

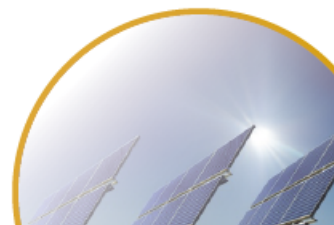
d) Parque solar en construcción

Actualmente se construye en la provincia central de Madhya Pradesh, India el **proyecto más grande de paneles solares**, el cual tendrá la **capacidad de 750 MW**.

3.3 Energía solar fotovoltaica: Caso México

Según datos de la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA), **Latinoamérica** se convertirá en uno de los grandes **líderes en el desarrollo de energía solar**, específicamente en países como **Chile, Brasil y México**.

A finales de 2013, en estos países se tenían en construcción diversos proyectos de energía fotovoltaica. Tan sólo en México, se tenían registrados proyectos que aportarían 219 MW de energía fotovoltaica.



a) Parque Aura Solar 1

La central fotovoltaica más grande de América Latina, se encuentra en la zona norte de la República Mexicana. Ubicada en La Paz, Baja California Sur, cuenta con **132,000 paneles solares** y tiene capacidad para **generar 82 GWh al año**, lo que permitirá abastecer el consumo de 164,000 habitantes; el 64% de la población de la ciudad. Para su construcción se realizó una inversión de 100 millones de dólares.



Imagen 6. Parque Aura Solar en La Paz, Baja California Sur.

b) Parque Solar Fotovoltaico “Bicentenario”

Considerado como el **primer parque fotovoltaico de Latinoamérica**. Este parque se encuentra ubicado al sur de Aguascalientes. Consta de **4,445 paneles** distribuidos en 2 de las 6 hectáreas del terreno. Cuenta con potencia de **2 MW** de capacidad instalada y evita la emisión de 2,513 toneladas de dióxido de carbono.

El Parque Solar Fotovoltaico "Bicentenario" forma parte del **Parque de Innovación y Transferencia Tecnológica (PITT)** en donde se agrupan empresas nacionales e internacionales, con actividades basadas en procesos de innovación con aplicación productiva y desarrollo tecnológico.

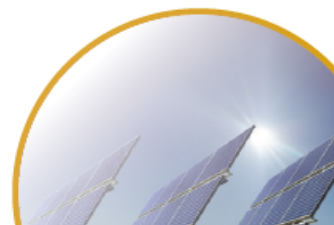




Imagen 7- Parque Solar Fotovoltaico "Bicentenario", Aguascalientes

c) Parque Fotovoltaico de Apaseo el Grande

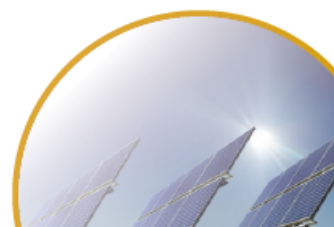
Ubicado en el Estado de Guanajuato, el Parque Fotovoltaico de Apaseo el Grande cuenta con una extensión de **3.3 hectáreas** para la producción de **1 MW de potencia** de alta concentración fotovoltaica. Permite el ahorro de 3 mil toneladas de dióxido de carbono.

El parque cuenta con **113 sistemas de concentración fotovoltaica**, con capacidad de 8.8 kilowatts cada uno, los cuales abastecen al Centro de Negocios de Apaseo cubriendo el 25% de su demanda de energía.

La capacidad instalada del parque equivale a atender el consumo de más de 1,400 casas habitación y el impacto económico de la planta es dar certidumbre en el costo de la energía a lo largo de los próximos 25 años de vida útil del proyecto.



Imagen 8 Parque Fotovoltaico, Apaseo el Grande, Guanajuato



d) Chiapas, ejemplo de sustentabilidad

- **Escuela autosustentable**

En Chiapas se encuentra la **primera escuela de nivel medio superior en todo el país que funciona al 100% con energía solar**. El sistema que abastece de energía, es el primero que se establece en un centro educativo a nivel nacional, y consiste en la operación de 24 paneles solares interconectados a la red eléctrica, que permiten producir la energía que consume, así como la instalación de 150 lámparas LED.

- **Comunidades autosustentables**

En 2010, con el objetivo de brindar una mejor calidad de vida a los habitantes de las comunidades con menor índice de desarrollo humano, el **Gobierno del Estado de Chiapas instaló 170 sistemas solares** en aquellas localidades que, por su situación geográfica, no contaban con servicio de energía eléctrica convencional.

Los sistemas fotovoltaicos instalados tienen una capacidad de 130 watts, que permiten **suministrar de energía a comunidades de 9 municipios**, en beneficio de 789 pobladores.

Por otro lado, la **Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH)** puso en funcionamiento un sistema eléctrico a través de la captación de energía solar en dos comunidades indígenas, “Nuevo Amanecer”, en el municipio de Tenejapa y “Monte Oreb”, en Cintalapa.

Los hogares de ambas comunidades cuentan con **equipos fotovoltaicos que funcionan para el bombeo de agua, brindan iluminación exterior y para el uso de estufas ecológicas**.



De igual forma, la UNICACH instaló la comunidad Solar en “El Tuzal” del municipio de Cintalapa, poniendo en marcha **paneles solares y la línea de conducción de agua** para unas 40 familias del lugar. El sistema instalado, consta de paneles solares con una autonomía de 8 días, lo que les permite tener conectados una televisión, un reproductor de música, refrigerador y focos leds, independientemente de que cuentan con una red de focos en la vía pública.



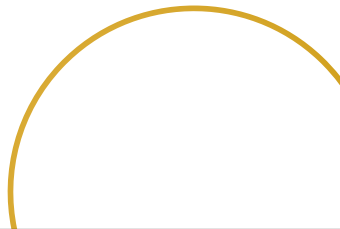
Imagen 9. Ejemplo de celdas fotovoltaicas instaladas en comunidades de Chiapas



Marco normativo



Aprovechamiento de la Energía
Solar Fotovoltaica en el Estado de México



4. Marco normativo nacional y estatal en el uso de energías renovable

En los últimos años, con el fin de **promover el uso de energías renovables** en el país, el Gobierno de la República Mexicana ha trabajado en **la creación y modificación de leyes** que permitan **incentivar el uso de energías limpias y disminuir la dependencia relacionada con los combustibles fósiles**. Entre las principales modificaciones y publicaciones, se encuentran (tabla 5):

Tabla 5. Marco Legal en materia energética

1992	• Reforma a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)
1993	• Publicación del Reglamento de la LSPEE
1995	• Aprobación de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía (CRE)
2006	• Contrato de Interconexión para Fuentes de ER
2007	• Contrato de Interconexión para Fuentes de Energía Solar en Pequeña Escala
2008	• Ley para el Aprovechamiento de las ER y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)
2009	• Reglamento de la LAERFTE
2013	• Aprobación de la Reforma Energética
2014	• Publicación de Ley de la Industria Eléctrica



4.1 Reforma Energética

La **Reforma Constitucional en Materia de Energía**, propuesta por el presidente de la República Mexicana y que fue aprobada por el Congreso Constituyente Permanente, pretende **modernizar el sector energético** manteniendo el control de las empresas publicas dedicadas a la extracción, explotación y producción de hidrocarburos y de electricidad.

Las **reformas a los artículos 25, 27 y 28** de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Constitución, 2014) y los 21 artículos transitorios del Decreto de la Reforma del 20 de diciembre de 2013 (Decreto en Energía, 2013) tienen un impacto relevante en el Sistema Eléctrico Nacional. Particularmente, la **Comisión Federal de Electricidad (CFE)** será dotada de mayor autonomía y de un nuevo carácter como **empresa productiva** del Estado.

En materia eléctrica, la Reforma Energética dispone:

- Se reforma el Artículo **25** de la Constitución para disponer la **transformación de Petróleos Mexicanos y a la Comisión Federal de Electricidad en empresas productivas del Estado**, cuyo objeto será la creación de valor económico e incrementar los ingresos de la Nación, con sentido de equidad y responsabilidad social y ambiental
- Estas empresas **contarán con autonomía presupuestal** y estarán **sujetas sólo al balance financiero** y a un límite en servicios personales de acuerdo con lo que apruebe el Congreso de la Unión. Para su administración, organización y estructura corporativa, **deberán adoptar las mejores prácticas a nivel internacional que garanticen la transparencia, eficiencia, eficacia, honestidad y productividad** en el desarrollo de sus actividades para obtener los mayores ingresos y garantizar el ejercicio del gasto en beneficio del Estado.



- En el Artículo **27** Constitucional que la **planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como la transmisión y distribución de energía eléctrica corresponden** exclusivamente a la **Nación**. Se mantiene la **prohibición** expresa de **otorgar concesiones** en estas actividades, sin embargo, se permite que el Estado celebre contratos con particulares para que, por cuenta de la Nación, lleven a cabo el financiamiento, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura necesaria para prestar el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica.
- Se reforma el Artículo **28** Constitucional para que la **planeación y el control del sistema eléctrico nacional**, así como el servicio público de transmisión y distribución de electricidad sean áreas exclusivas del Estado. Se reafirma el control del Estado sobre el sistema eléctrico como una actividad toral de la Nación para **beneficio de los mexicanos**.
- El **Centro Nacional de Control de Energía**, que actualmente forma parte de CFE, será un **organismo público descentralizado** encargado del control operativo del sistema eléctrico nacional. Con ello se dispone que un tercero imparcial, y ya no la propia CFE, opere el mercado eléctrico mayorista y garantice a los generadores el acceso abierto y equitativo a la red nacional de transmisión y a las redes generales de distribución. Así se impulsará la inversión en nuevas centrales de generación con tecnologías limpias y eficientes.
- Fortalece a la **Secretaría de Energía**, para definir la política energética del país que en materia de electricidad llevará a cabo la planeación del sistema eléctrico, vigilará la operación eficiente del sector y determinará los requerimientos de **energías limpias y reducción de emisiones contaminantes**.



4.2. Modificación a Leyes derivadas de la Reforma Energética

Derivado de la Reforma Energética, las **nuevas leyes** deberán definir el papel de participantes públicos y privados en temas como:

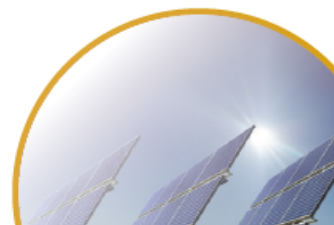
- Eficiencia en el uso de energía y recursos naturales.
- **Disminución en la generación de gases** y compuestos de efecto invernadero.
- **Disminución en la generación de residuos**, emisiones y de la huella de carbono.

En el sector eléctrico, se establecen **obligaciones para el uso de energías limpias y la reducción de emisiones contaminantes**, permitiendo que las metas del sector se cumplan en tiempo y forma.

A continuación se describen las principales reformas, modificaciones y e iniciativas impulsadas con la Reforma Energética en la actual administración del Gobierno Federal.

4.2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

El artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece que al Estado le corresponde la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege la propia Constitución. En ese sentido, el Estado planeará, conducirá, coordinará y orientará la actividad económica nacional.



En materia eléctrica, la Reforma Energética dispone en el Artículo 27 Constitucional que la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como la transmisión y distribución de energía eléctrica corresponden exclusivamente a la Nación. Se mantiene la prohibición expresa de otorgar concesiones en estas actividades, sin embargo, se permite que el Estado celebre contratos con particulares para que, por cuenta de la Nación, lleven a cabo el financiamiento, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura necesaria para prestar el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica.

Se reforma el Artículo 28 Constitucional para que la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de electricidad sean áreas exclusivas del Estado. Se reafirma el control del Estado sobre el sistema eléctrico como una actividad total de la Nación para beneficio de los mexicanos.

De conformidad con los artículos 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, así como a lo dispuesto en el artículo 33 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, a la Secretaría de Energía le corresponde establecer y conducir la política energética del país; ejercer los derechos de la Nación en materia de petróleo y todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos y gaseosos, de minerales radioactivos, así como respecto del aprovechamiento de los bienes y recursos naturales que se requieran para generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación del servicio público; conducir y supervisar la actividad de las entidades paraestatales sectorizadas en la Secretaría, y llevar a cabo la planeación energética a mediano y largo plazos, así como fijar las directrices económicas y sociales para el sector energético paraestatal.



4.2.2 Ley del Impuesto sobre la Renta

SECCIÓN II DE LAS INVERSIONES

Artículo 34. Los por cientos máximos autorizados, tratándose de activos fijos por tipo de bien son los siguientes:

XIII. 100% para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de **fuentes renovables** o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente.

4.2.3 Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica

Artículo 2, fracción XXVI.

Se define al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) como el conjunto de instalaciones destinadas a la generación, transmisión, transportación, subtransmisión, distribución y venta de energía eléctrica de servicio en toda la República Mexicana, estén o no interconectadas. En este sentido, a continuación se presentan las estadísticas reportadas en el Sistema de Información Energética (SIE), correspondiente al Servicio Público y a los Productores Independientes de Energía (PIEs), así como los datos de la CRE referentes a los permisionarios para generación de energía eléctrica.

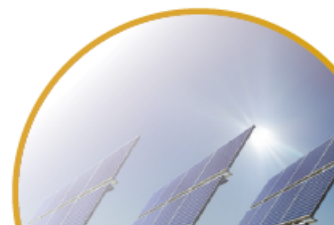
4.2.4 Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica

TÍTULO PRIMERO; Disposiciones Generales

Capítulo I; Objeto y Definiciones

Artículo 3.- Para efectos de los artículos 23, 24 y 25 de la Ley, las instalaciones de abasto aislado podrán o no estar interconectadas o conectadas de forma permanente o temporal a la Red Nacional de Transmisión y a las Redes Generales de Distribución.

Cualquier persona física o moral que adquiera o produzca energía eléctrica mediante el abasto aislado, para su propio consumo o para el consumo dentro de sus instalaciones, tendrá el carácter de Usuario Final que se suministra por el abasto aislado.



Capítulo III De los Permisos y Autorizaciones

Artículo 16.- Requieren de permiso otorgado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE), las Centrales Eléctricas con capacidad igual o mayor a 0.5 MW, así como las representadas por un Generador en el Mercado Eléctrico Mayorista, con independencia de su capacidad, salvo las destinadas exclusivamente al uso propio en emergencias o interrupciones en el Suministro Eléctrico. Para efectos de lo anterior, se considerará la capacidad neta que una Central Eléctrica haga disponible al Sistema Eléctrico Nacional.

Artículo 20.- Los permisos de generación y Suministro Eléctrico y las autorizaciones de importación y exportación tendrán una vigencia de hasta treinta años. Los permisos y autorizaciones se otorgarán a todas aquellas personas que cumplan con los requisitos establecidos en este Reglamento y en las disposiciones administrativas de carácter general que al efecto expida la CRE.

Artículos 20,21 y 22.- Requisitos y trámite de los permisos

TÍTULO SEGUNDO De la Industria Eléctrica

Capítulo I De la Transmisión y Distribución

Artículo 37.- El Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica se sujetará a las disposiciones administrativas de carácter general que emita la CRE en materia de Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad. La prestación de dicho servicio público se realizará observando el correcto funcionamiento e integridad de los equipos y dispositivos de sus redes.

Capítulo II Condiciones para la Prestación del Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica y del Suministro Eléctrico

Artículo 38.- La regulación de las condiciones generales a las que deberá sujetarse la prestación del Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, así como del Suministro Eléctrico se establecerá mediante las disposiciones administrativas de carácter general que emita la CRE.

Capítulo III Del Acceso Abierto

Artículo 43.- Los Transportistas y Distribuidores prestarán el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica para el aprovechamiento de la capacidad de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución para lo cual se sujetarán a las disposiciones administrativas de carácter general que expida la CRE, las cuales contendrán, cuando menos:



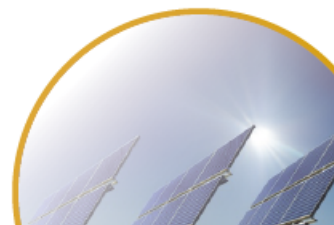
- I. Los criterios para permitir la interconexión y la conexión de usuarios a la infraestructura de la Red Nacional de Transmisión y a las Redes Generales de Distribución, tomando cuenta la definición de las especificaciones técnicas generales, la características específicas de la infraestructura requerida y las demás determinaciones que corresponda al CENACE de acuerdo con la Ley y las Reglas del Mercado, y
- II. La información que los Transportistas y Distribuidores deberán hacer pública, mediante boletines electrónicos u otros medios de acceso electrónico, respecto de la capacidad de sus redes y las condiciones de operación en la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución.

Capítulo IV De las Tarifas Reguladas, los Precios y Contraprestaciones

Artículo 47.- La Comisión Reguladora de Energía (CRE) expedirá, mediante disposiciones administrativas de carácter general, la regulación de las contraprestaciones, precios, Tarifas Reguladas y contabilidad regulatoria para la prestación del Servicio Público de Transmisión y Distribución, así como del Suministro Eléctrico en las modalidades de Suministro Básico y Suministro de Último Recurso, operación del El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y Servicios Conexos no incluidos en el Mercado Eléctrico Mayorista.

Para cada actividad, la CRE establecerá la regulación de contraprestaciones, precios o Tarifas Reguladas, bajo principios que permitan el desarrollo eficiente de la industria y de mercados competitivos, que reflejen las mejores prácticas en las decisiones de inversión y operación y que protejan los intereses de los usuarios. La CRE no reconocerá las contraprestaciones, precios o tarifas que se aparten de dichos principios.

Las disposiciones que la CRE emita en materia de contabilidad regulatoria deberá especificar el catálogo de cuentas y las reglas para el registro contable que, de manera independiente de la contabilidad fiscal o corporativa de las empresas, resulten necesarias para la evaluación y verificación en materia de precios, Tarifas Reguladas y contraprestaciones, así como la evaluación del desempeño de los sujetos regulados. Adicionalmente, las contraprestaciones, precios o Tarifas Reguladas que autorice la CRE deberán constituir mecanismos que promuevan una demanda y uso racional de los bienes y servicios.



Artículo 49.- La CRE publicará en su página electrónica la información relevante del proceso de determinación de las contraprestaciones, precios y Tarifas Reguladas aprobadas, así como la información relevante respecto de las condiciones de las contraprestaciones, precios o tarifas convencionales pactadas o descuentos otorgados. Dicha información incluirá las memorias de cálculo usadas para determinar dichas tarifas y precios.

Artículo 50.- Para el otorgamiento de los permisos de Suministro de Servicios Básicos o de Suministro de Último Recurso no se requerirá contar con la aprobación de las contraprestaciones, precios o Tarifas Reguladas. Sin perjuicio de lo anterior, la aprobación de dichas contraprestaciones, precios o tarifas será un requisito previo al inicio de las operaciones.

Capítulo V

De las Aportaciones para la Ejecución de Obras para la Interconexión o Conexión a la Red de Transmisión Nacional y las Redes de Distribución Generales

Artículo 58.- Para efectos de la exención prevista en el artículo 35, fracción III de la Ley, los doscientos metros serán medidos sobre calles, avenidas, derechos de vía y servidumbres de paso desde el poste o registro más cercano a las instalaciones de Baja Tensión existentes del Transportista o distribuidor al punto de conexión a las instalaciones del Usuario Final individual. La CRE definirá criterios para determinar cuándo un Centro de Carga puede ser considerado como instalaciones de un Usuario Final individual en Baja Tensión.

4.2.5 Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y del Financiamiento de la Transición Energética

Capítulo III De la promoción de la investigación y desarrollo tecnológico.

Artículo 28.- La Secretaría, con la participación que corresponda al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, promoverá la investigación aplicada y el desarrollo de tecnologías para la generación con fuentes de Energías renovables considerando, entre otros, los siguientes criterios:



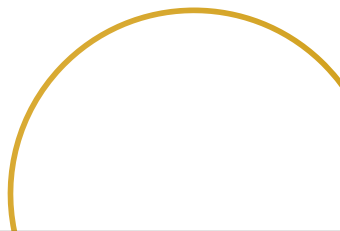
- I. La congruencia de sus objetivos con los de la Ley, el presente reglamento, la Estrategia y el Programa;
- II. El fomento del desarrollo de nuevos conocimientos, materiales, técnicas, procesos, servicios y tecnologías en materia de Energías renovables;
- III. La viabilidad técnica, ambiental, financiera, administrativa, social y de ejecución para el efectivo cumplimiento de sus objetivos;
- IV. La vinculación de sus resultados con el desarrollo económico y social nacional y regional, incluyendo la generación de empleos, y
- V. El máximo beneficio económico neto con los menores impactos en el menor tiempo posible.



Características del Estado de México



Aprovechamiento de la Energía
Solar Fotovoltaica en el Estado de México



5. Estado de México

5.1 Elementos socioeconómicos y demográficos en el Estado de México

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI), el Estado de México presenta las siguientes características socioeconómicas y demográficas:

Tabla 6. Características socioeconómicas y demográficas del Estado de México

Capital	Toluca de Lerdo
Municipios	125
Extensión:	22,351 km ² , el 1.1% del territorio nacional.
Población:	15, 175,862 habitantes, el 13.5% del total del país. Primer lugar a nivel nacional por el número de habitantes
Distribución de población:	87% urbana y 13% rural; a nivel nacional el dato es de 78% y 22 %, respectivamente.
Escolaridad:	9.0 (Secundaria terminada); 8.6 el promedio nacional.
Hablantes de lengua indígena de 5 años y más:	2 de cada 100 personas. A nivel nacional 6 de cada 100 personas hablan lengua indígena.
Sector de actividad que más aporta al PIB estatal:	Industrias manufactureras Destaca la producción de alimentos bebidas y tabaco.
Aportación al PIB Nacional:	9.35%

Fuente: INEGI, 2010a y 2013a

a) Extensión Territorial

El territorio mexiquense tiene una **extensión de 22,351 Km²**, el 1.1% del territorio total del país (figura 9). Ocupa el lugar 25 a nivel nacional, mientras que Chihuahua es el Estado con mayor extensión en el país con 247,60 km².



Fuente: INEGI. Panorama Sociodemográfico de México, 2011



El Estado de México representa 1.1% de la superficie total del país



Figura 9. Porcentaje del territorio Mexiquense en la República Mexicana
Fuente: INEGI. Panorama Sociodemográfico de México, 2011

b) Número de habitantes

El Estado de México ocupa el **primer lugar a nivel nacional por su número de habitantes**. En el 2010, el INEGI reportó que en ésta entidad federativa viven 15,175,862 habitantes:

- 7,778,876 mujeres
- 7,396,986 hombres.



c) Actividades Económicas

En el territorio mexiquense el 63.5% del PIB se genera a través de **actividades terciarias**, entre las que destacan, comercio, restaurantes, hoteles, servicios financieros e inmobiliarios, así como servicios educativos y médicos. El **34.9%** corresponde a las actividades secundarias, principalmente, de la **industria manufacturera**. Tan sólo el **1.6%** corresponde a **actividades primarias** como lo son agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal pesca y caza (tabla 7).

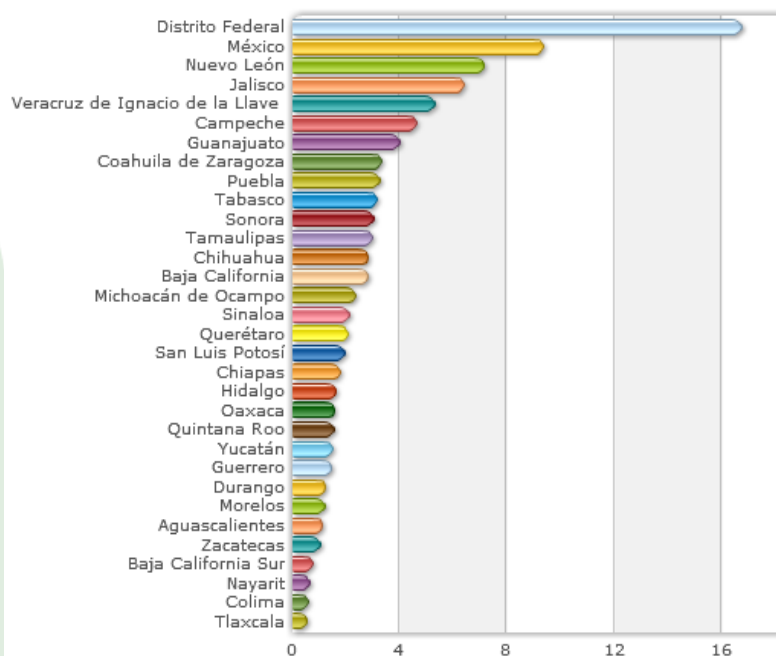


Tabla 7. Porcentaje de participación de las actividades económicas del Estado de México

Actividad económica	% de participación
Actividades primarias	1.60
Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	1.60
Actividades secundarias	34.87
Minería	0.43
Construcción y Electricidad, agua y gas	7.55
Industrias Manufactureras	26.89
Actividades terciarias	63.53
Comercio, restaurantes y hoteles	20.13
Transportes e Información en medios masivos	6.95
Servicios financieros e inmobiliarios	15.65
Servicios educativos y médicos	9.50
Actividades del Gobierno	4.38
Resto de los servicios*	6.92
Total PIB	100

Fuente: INEGI Sistema de Cuentas Nacionales de México Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 2005-2009. Ajustados por SIFMI, 2011b.

Participación estatal en el Producto Interno Bruto, 2013



Para 2013, la economía mexicana registró un **PIB** de **15, 447,556** millones de pesos.

El porcentaje de participación del **Estado de México** como aportación al PIB nacional fue de **9.35%**, tan sólo por debajo del Distrito Federal que aportó el 16.71% (figura 10).

Figura 10. Participación estatal en el Producto Interno Bruto, 2013
Fuente: INEGI. PIB y Cuentas Nacionales, 2013.



5.2 Elementos Geosistémicos en el Estado de México

El clima de una región se encuentra definido por elementos que se pueden agrupar en tres categorías: cósmicos, terrestres y antrópicos. La radiación solar es una de las variables que definen al clima de una región.

El Estado de México se ubica en la zona geo astronómica conocida como **franja intertropical**, que se ubica entre las latitudes 23.5° Norte y 23.5° Sur (figura 11). En esta región, **las fluctuaciones en la radiación solar** a lo largo del año **son mínimas** ya que esta no se ve tan afectada por el movimiento de traslación, como ocurre en sitios ubicados en latitudes hacia el norte, donde el paso de las estaciones a lo largo del año genera fluctuaciones importantes. **La radiación solar en la región intertropical se puede considerar relativamente constante** a lo largo del año.

Franja Intertropical

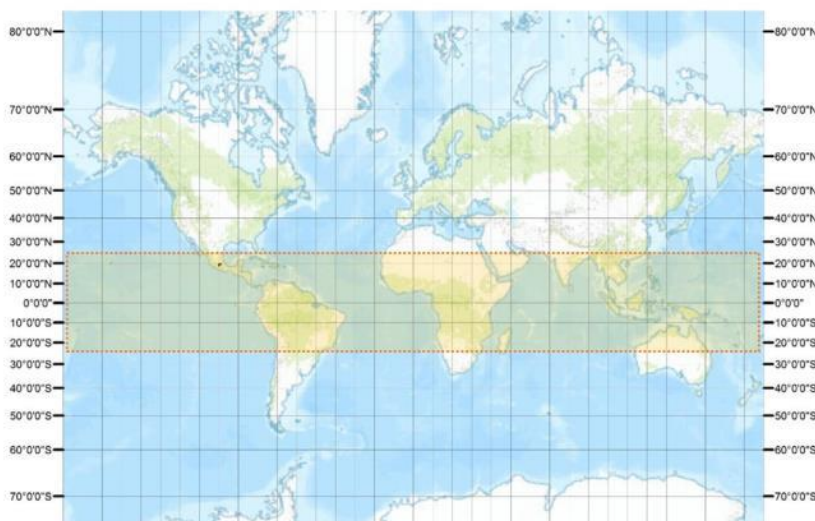


Figura 11. Ubicación del Estado de México en relación a la franja intertropical.
Fuente: Basado en el mapa World Topographic Map, ESRI (2013).



El relieve es una de las variables terrestres que tiene mayor efecto en el clima. El **Estado de México se ubica entre las regiones de mayor altitud** (entre los 1800 y los 2600 metros sobre el nivel del mar), perteneciendo a la región fisiográfica conocida como región Sur del Altiplano Mexicano (figura 12).

Elevación del Terreno en el Territorio Mexiquense

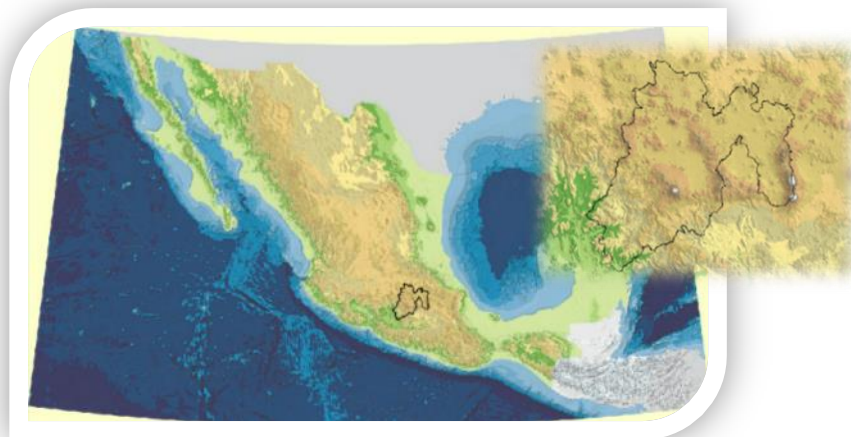


Figura 12 Hipsográfica (elevación del terreno) de México.
Nota: Regiones de menor altitud en colores verde pálido y de mayor altitud en marrón y café. Fuente: INEGI (2013b).

El Estado de México, al estar en una de las regiones de mayor elevación del terreno, con respecto al nivel del mar, **es una de las regiones más expuestas a la radiación directa.**

Relieve del Estado de México



Imagen 10 Relieve Mexicano en imagen satelital 3D, resaltando el Estado México.
Fuente: Google Earth, 2014.



5.3 Sistemas Atmosféricos y Geográficos del Estado de México

El Estado de México se encuentra en la **zona tropical** (de 10° a los 23° 27' de latitud norte), es decir, el sol pasa dos veces durante el año por su territorio. Esta situación, permite **mayor incidencia de radiación solar** en relación con latitudes superiores. La orografía accidentada y las **elevadas altitudes del Estado de México facilitan la condensación del vapor de agua** por lo que **la insolación se reduce** de manera considerable durante el verano. No obstante, la radiación solar es elevada en gran parte del año (imagen 11).

Durante la primavera y el verano, la llegada de los frentes cálidos y la estabilidad de la atmósfera, conducen a la formación de olas de calor que al prolongarse por más de tres días, generan días propicios para la manifestación de la radiación solar, que en ocasiones los valores rebasan los 7 Kw/m². La radiación solar más **intensa se presenta en los meses de marzo, abril y mayo.**

Vientos de la República Mexicana

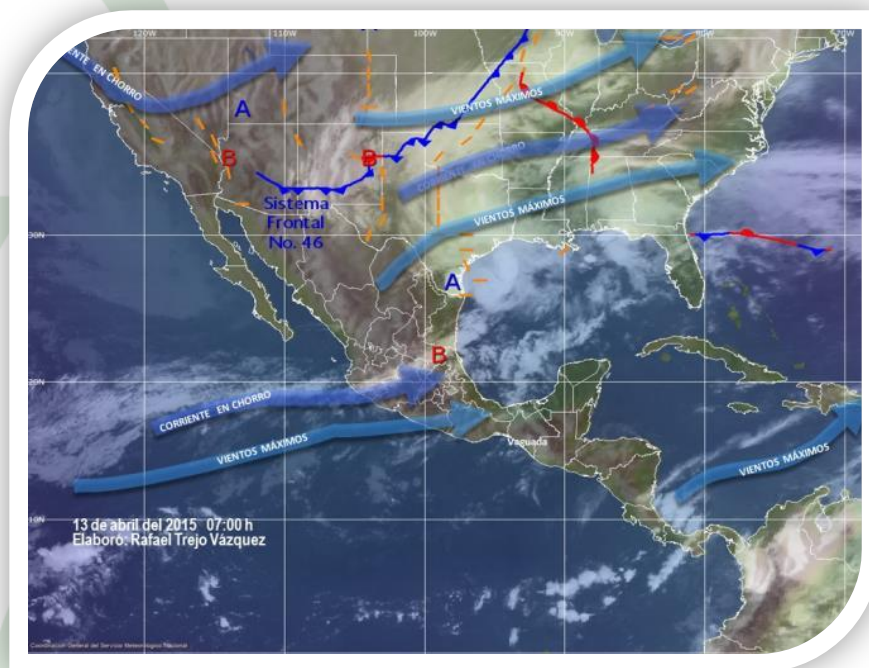
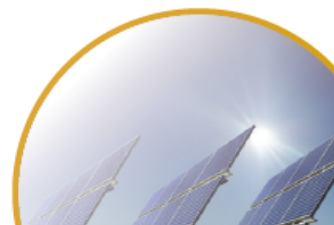


Imagen 11. Mapa de vientos de la República Mexicana
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2014.



Durante los meses de canícula (periodo más cálido del verano) y de sequía intraestival, la **nubosidad y las lluvias merman apreciablemente** en **julio o agosto**, por lo que la **radiación solar disminuye**. Las regiones del Estado de México más propensas al incremento de radiación son las zonas de sotavento (estribaciones montañosas áridas y semiáridas) y en las de solana, o sea, laderas con superficies perpendiculares al sol.

Sequia Intraestival en la República Mexicana

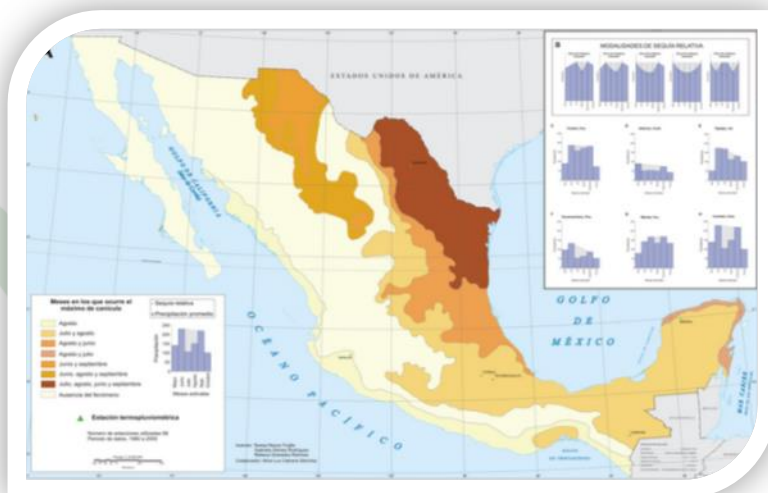


Figura 13 Sequía intraestival en la República Mexicana
Fuente: Instituto de Geografía, UNAM, 2007.

En la interpretación realizada por la Facultad de Geografía de la UAEM, en el mapa anterior (figura 10) se puede apreciar la ocurrencia de la **sequía intraestival y la canícula** en la República Mexicana. La escasez de las lluvias en verano no es muy severa en el Estado de México, sin embargo, en los años en que ocurre se presenta el fenómeno de “El Niño”, las sequías que imperan en el país, se prolongan hacia el territorio mexiquense, lo que conlleva a **periodos de fuerte radiación solar y elevadas temperaturas**. Los días con escasa nubosidad y precipitación y canícula pueden aprovecharse para el uso óptimo de la radiación solar.



Por otro lado, es importante destacar que en zonas donde se tienen periodos de sequía importantes, como es la parte noreste del país, las plantas solares FV tendrán mayores costos de mantenimiento debido a que, como se mencionó anteriormente, una sequía mayor a 60 días promueve una acumulación de polvo que disminuye de manera importante el desempeño de los módulos FV.

Considerando los tipos de clima, las regiones con **mayor potencial de captación de radiación solar** son el Este, Noreste y Norte del Estado, ya que en estas regiones se presentan **climas secos**.

Los climas secos esteparios tienen menos de 600 mm al año, con lo que se infiere que existe o se presenta poca o escasa humedad atmosférica. Esto implica poca o escasa nubosidad, y por tanto altos índices de radiación solar a lo largo del año (figura 11).

Climas en el Estado de México



Templado subhúmedo	73%*
Cálido subhúmedo	21%*
Seco y semiseco	6%*
Frío de alta montaña	0.16%*

*Referido al total de la superficie estatal.
FUENTE: Elaborado con base en INEGI. Carta de Climas 1:1 000 000.

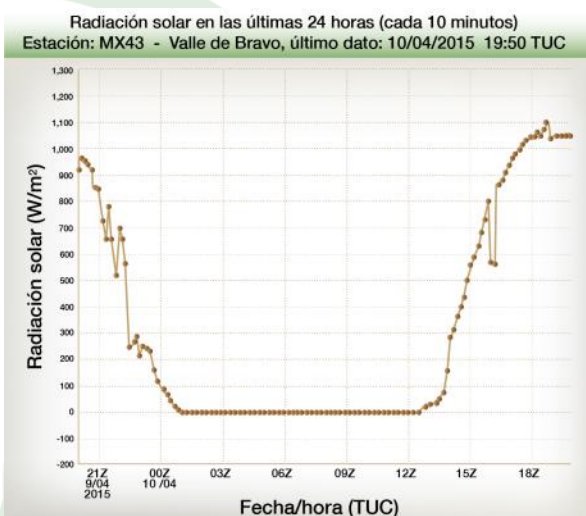
Figura 14. Climas del Estado de México
Fuente: INEGI (S/F).



En verano sólo los climas de la región sur tienen limitaciones por la mayor presencia de nubosidad, pero **en invierno y primavera todos sus climas son aptos para la captación de radiación solar** por la escasa presencia de nubes.

5.4 Radiación Solar en el Estado de México

El análisis comparativo realizado por la Facultad de Geografía, a los registros de las **estaciones meteorológicas estatales** ubicadas en Valle de México y Amecameca, indica que la hora del día en que ocurre la **mayor captación de energía solar**, es **entre las 3 y las 6 de la tarde** (gráfica 4) hora en que los valores de irradiancia registrados sobrepasan los 800 W/m^2 .



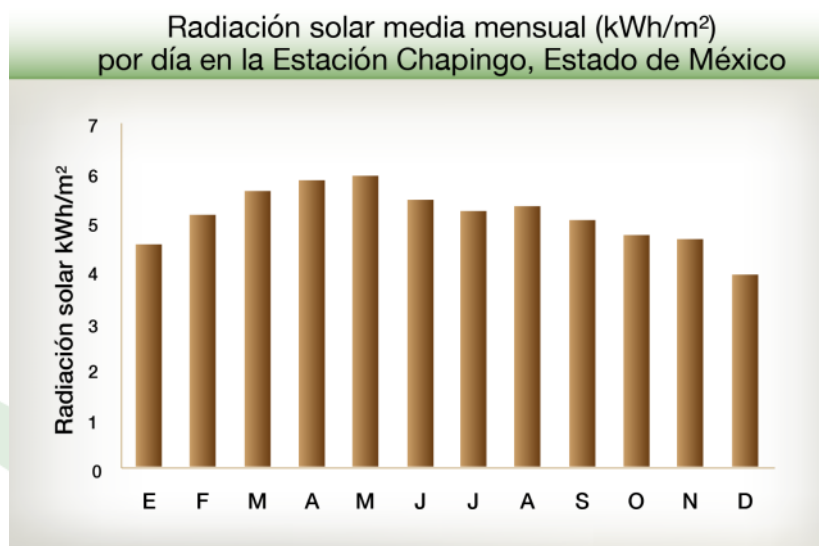
Gráfica 4 Marcha horaria de la radiación solar registrada en las estaciones del servicio meteorológico nacional en el Estado de México.

Fuente: SMN, 2014.

Al realizar un análisis a los datos obtenidos en la Estación Agrometeorológica de Chapingo, del comportamiento de la radiación solar en el Estado de México, se puede observar que los meses con **mayor radiación solar son marzo, abril, mayo y agosto** (gráfica 5).



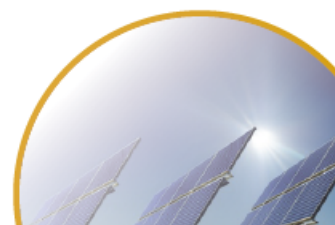
Aunque en junio y julio el sol se encuentra muy cerca del cenit de la entidad mexiquense, los valores de radiación disminuyen por la presencia de nubes y de las perturbaciones tropicales que invaden a gran parte del espacio del país.



Gráfica 5. Media de la Radiación solar mensual por día en la Estación Chapingo
Fuente: Datos obtenidos del INIFAP, 2014.

En el análisis realizado por la Facultad de Geografía de la UAEM, se observa que en el periodo de septiembre a febrero la radiación solar decrece en un 20%, ya que el sol se encuentra desplazado hacia el hemisferio sur. La energía solar sigue siendo relevante ya que **de noviembre a abril, la humedad atmosférica es escasa** y las laderas de cara al sur reciben la mayor cantidad de radiación solar.

Asimismo, las regiones con formas cóncavas y con configuración de valles, concentran mejor la radiación solar, como son las laderas de las estructuras de la sierra las Cruces, el Nevado de Toluca, la sierra Nevada, la Sierra Morelos, la Matlazincinca, entre otras.



La **radiación solar más elevada** se registra **antes del solsticio de verano** (antes del 21 de junio), por lo que es importante aprovechar ese periodo para **captar mayor energía solar** mediante las celdas.

5.5 Distribución de la Radiación Solar en el Estado de México

En el Estado de México **la mayor radiación solar se concentra en las regiones del norte** (Aculco, Acambay, Temascalcingo, Timilpan, Chapa de Mota, Morelos, Jocotitlán, Jiquipilco, etcétera) y **noreste** (Tecámac, Temascalapa, Atenco, Tezoyuca, Apaxco, Teotihuacán, entre los más importantes). Los municipios del sur presentan menores valores de radiación por poseer nubosidades más elevadas (figura 15), a excepción de aquellos en los que la orientación del terreno (mayor elevación y exposición perpendicular al sol) ,conjugado con la presencia de climas con menor humedad, favorecen también la captación de energía solar.

Irradiación Solar en el Estado de México

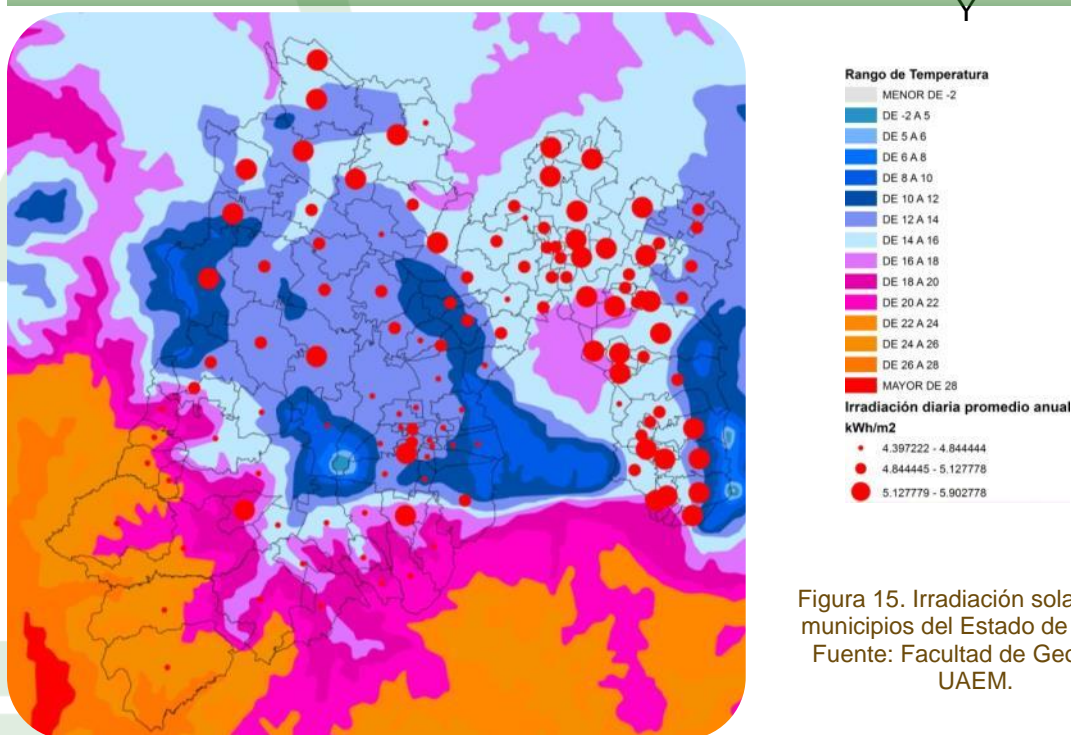
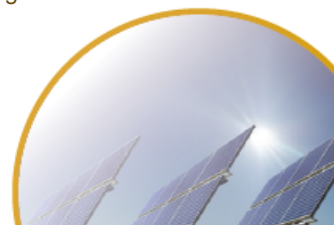


Figura 15. Irradiación solar en los municipios del Estado de México
Fuente: Facultad de Geografía UAEM.



Los municipios de **mayor radiación solar** están relacionados con las condiciones **secas y semiáridas del norte, noreste y oeste de la entidad**. Aunque la distribución de la radiación solar es más elevada en algunas regiones, **en todo el territorio mexiquense se presentan condiciones óptimas para su captación**, ya que se encuentra en una zona intertropical que favorece la incidencia de energía solar.

5.6 Población Marginada en el Estado de México

Según los datos registrados en la CONAPO, en la región oeste y sur del Estado de México, existe **población marginada**, que se vería **beneficiada con la implementación de celdas solares**, contribuyendo a **mejorar sus condiciones de vida** (imagen 12).

Comunidades Marginación en el Estado de México

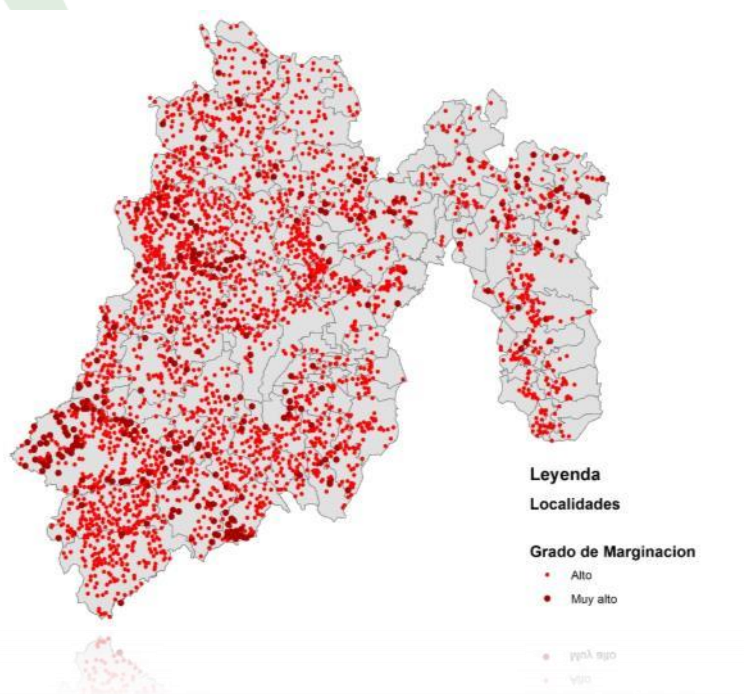
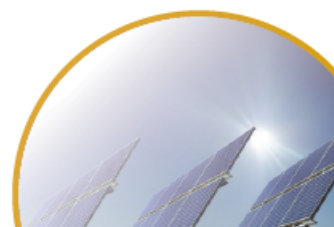


Imagen 12. Localidades mexiquenses con alto y muy alto grado de marginación.
Fuente: CONAPO, 2010.



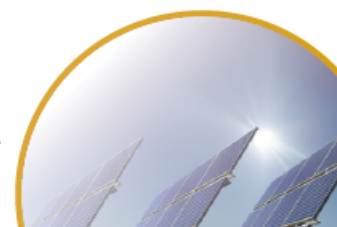
5.7 Consumo de energía en el Estado de México

En contraste, el área metropolitana del **valle de Toluca**, se encuentra entre las regiones de **mayor consumo de energía eléctrica** (imagen 13). En esta imagen nocturna, las regiones altamente urbanizadas y altamente consumidoras de energía destacan por el alto nivel de brillo.

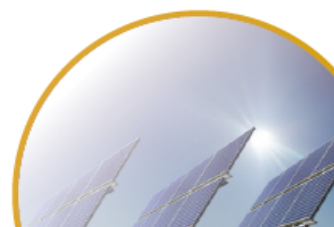
Consumo de energía en el Estado de México



Imagen 13. Imagen satelital nocturna de la tierra.
Fuente: NASA *earth at night project*, 2012.



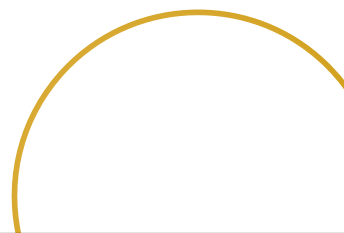
Una vez analizadas las condiciones físico demográficas y atmosféricas del Estado de México, por parte de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México, se puede decir que aunque la distribución de la radiación solar es más elevada en algunas regiones, **en todo el territorio mexiquense se presentan condiciones óptimas para su captación, ya que se encuentra en una zona intertropical que favorece la incidencia de energía solar.**



Casos en el Estado de México



Aprovechamiento de la Energía
Solar Fotovoltaica en el Estado de México

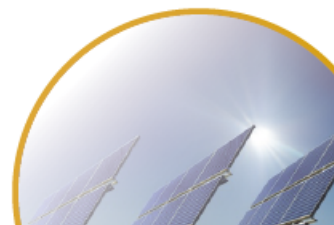


6. Casos de éxito de sistemas fotovoltaicos en el Estado de México

Según lo registrado en la base de datos del servidor SMA, fabricante líder de inversores solares (dispositivos que convierten la energía captada por las celdas solares en energía eléctrica) en el mundo, en México tenemos registrados **160 plantas que generan** energía a través de **sistemas fotovoltaicos**, en comparación con Alemania que cuenta con 15,000 registros (SMA, 2015).

Cada planta registrada, a pesar de tener la misma **tecnología**, cuenta con **diferentes características** en cuanto a **ubicación, condiciones geográficas e instalación**, es por ello que para realizar un análisis comparativo es necesario recurrir a la información que existe en los diferentes servidores que administran dicha información.

En el **Estado de México** se identifican **tres sistemas fotovoltaicos** que han presentado **resultados favorables** tanto en la captación de energía solar como en la conversión de ésta en energía eléctrica. A continuación, se describe cada uno de estos sistemas, pertenecientes al sector privado, público y educativo, **IUSASOL** (Empresa de Grupo IUSA), **Conjunto SEDAGRO** (Instalaciones del Gobierno del Estado de México) y **Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)**, respectivamente, así como de 3 plantas que están registradas en el sistema de SMA.



a) Sector Público - Conjunto SEDAGRO

En 2013, el **Gobierno del Estado de México** puso en marcha el **Proyecto de Eficiencia Energética y aplicación de Energías Renovables**, del cual derivó la **instalación, de un sistema fotovoltaico** en el **Conjunto SEDAGRO**, perteneciente al gobierno estatal, el cual se encuentra ubicado en el Ex Rancho San Lorenzo, del municipio de **Metepéc**.



Imagen 14 Sistema Fotovoltaico instalado en el Conjunto SEDAGRO

Este proyecto fue financiado con recursos asignados al **Programa de Medio Ambiente y Recursos Naturales**, del **Presupuesto de Egresos de la Federación 2013**.

En total el sistema cuenta con **652 paneles instalados**, con una capacidad total de generación de energía de **159.7 kWp**. La instalación del sistema fotovoltaico se llevó a cabo en dos fases (tabla 8).

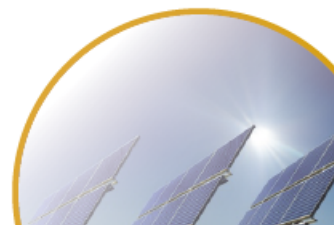


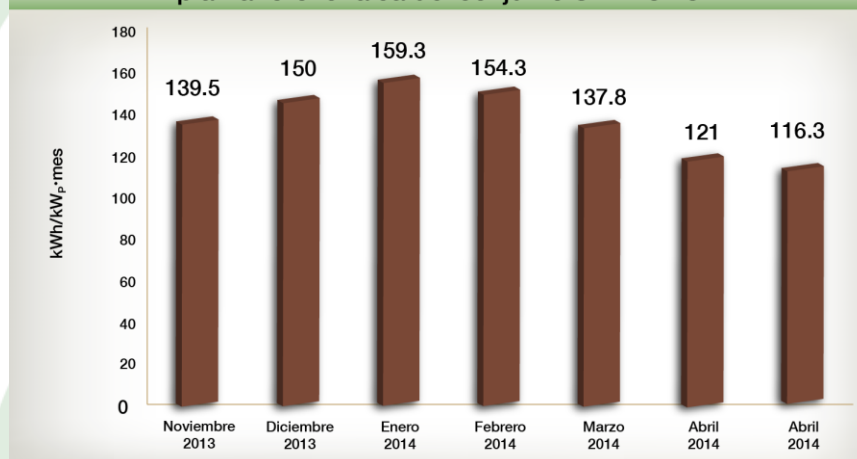
Tabla 8. Fases de la instalación del Sistema fotovoltaico en el Conjunto SEDAGRO

	Fase 1	Fase 2
Sistema Fotovoltaico	Secretaría de Desarrollo Urbano	Diferentes edificios
Capacidad:	29.4 kWp	130.3 kWp
Numero de paneles:	120	532
Potencia del Panel:	245 W	245 W
Tipo de Tecnología:	Policristalino	Policristalino

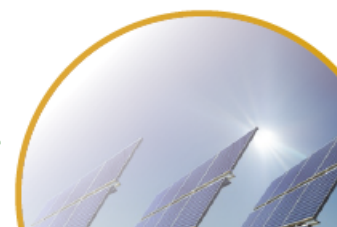
Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Estado de México, 2015

Los registros de los inversores solares instalados en este conjunto, muestran que la energía generada es de **5.45 kWh/m²** promedio diario, como se muestra en la gráfica 6, lo que refleja que el **sistema es eficiente** y que podrían instalarse más paneles en este sitio con la finalidad de impulsar el uso de energías renovables en el Estado de México y abastecer de energía al Conjunto SEDAGRO el cual consume 128,331 kWh/mes.

Producción específica mensual generada por la planta fotovoltaica del conjunto SEDAGRO



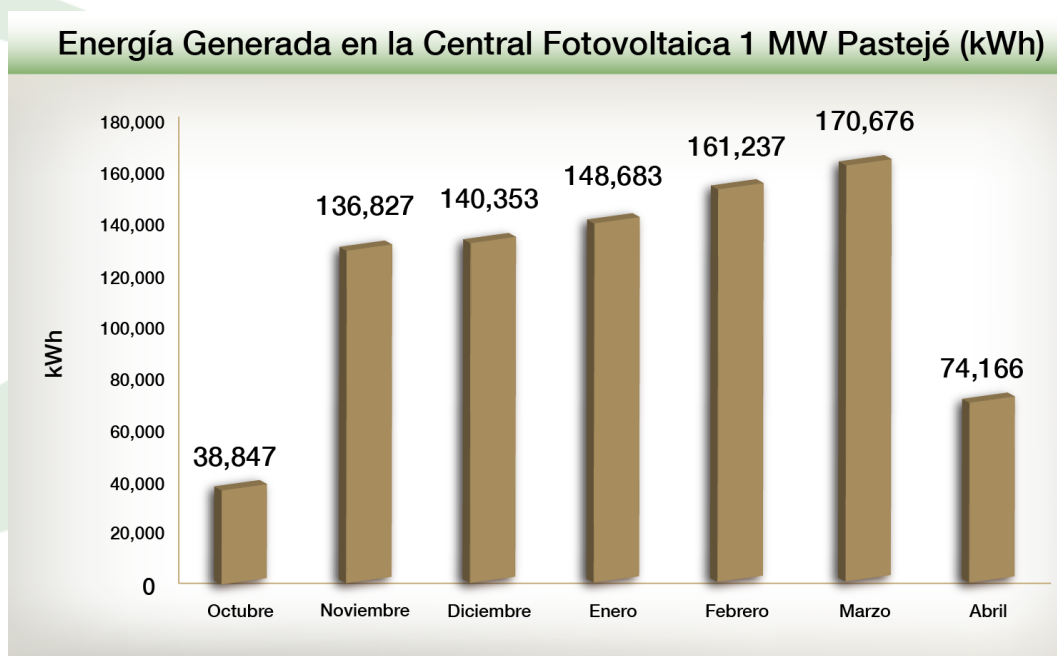
Gráfica 6. Energía generada Sistema fotovoltaico en el Conjunto SEDAGRO.
Fuente: Gobierno del Estado de México. Secretaría del Medio Ambiente, 2015.



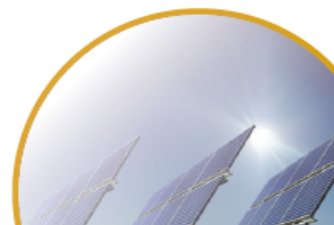
b) Sector Privado - IUSASOL - Central Fotovoltaica 1 MW Pastejé

La **Central Fotovoltaica**, perteneciente a **IUSASOL**, empresa que produce celdas solares, inicia pruebas de operación en **octubre de 2014**. Se encuentra ubicada en el municipio de **Jocotitlán**, Estado de México, en el **Complejo Industrial Pastejé**. Actualmente cuenta con una capacidad instalada de **1MW**.

Desde su inicio, la Central Fotovoltaica de Pastejé ha generado un promedio mensual de **124.4 MWh**, produciendo un total de **870.8 MWh** a la fecha (gráfica 7), evitando la emisión de **614 toneladas de CO₂**. Se estima que anualmente generará **1,932 MWh**.



Gráfica 7. Energía mensual generada en la Central Fotovoltaica 1MW Pastejé
Fuente: IUSASOL, 2015.



c) Sector Educativo Facultad de Ingeniería, UAEM

Una de las funciones sustantivas de la Universidad, es generar conocimiento en todas las disciplinas a través de sus organismos académicos y centros de investigación. De manera particular en la **Facultad de Ingeniería**, una de las más recientes **líneas de investigación** es la **generación de energía** a través de **métodos alternativos** que sean **amigables con el medio ambiente** y que provengan de fuentes renovables. Esta línea encuentra su fortaleza académica en el programa educativo de **Ingeniero en Sistemas Energéticos Sustentables** que oferta dicho espacio educativo.

Con el objetivo de generar información valiosa para los alumnos de esta carrera, en diciembre de 2012, se instaló en dicha Facultad, ubicada en Ciudad Universitaria del municipio de Toluca, un conjunto de **44 celdas** conectadas en **4 paneles** de 11 módulos que generan un potencial pico de **10 KWh**.

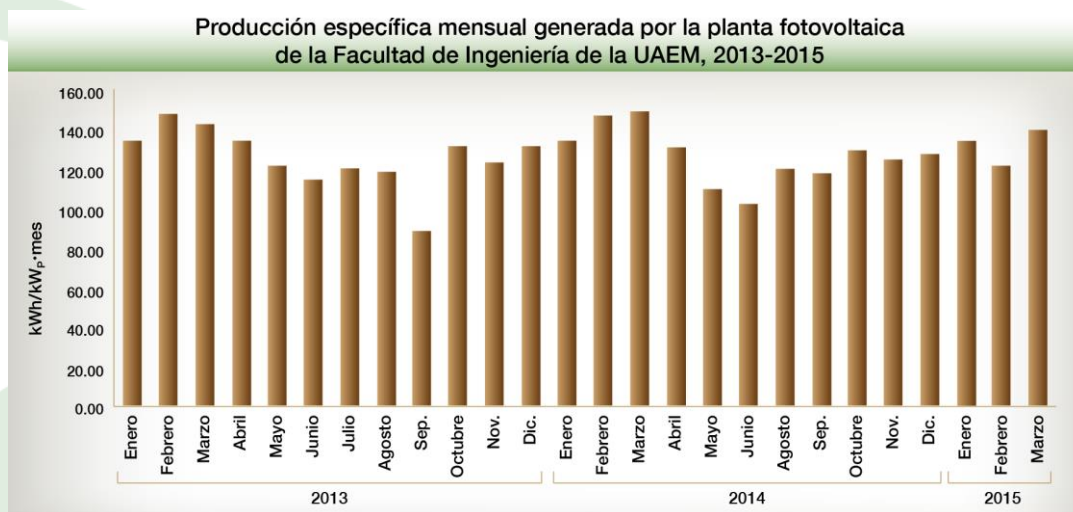


Imagen 15 Sistema Fotovoltaico instalado en el la Facultad de Ingeniería

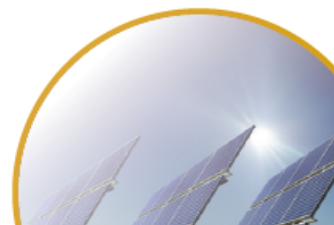


En la gráfica 8, se observa la producción específica mensual generada por la planta fotovoltaica de la Facultad de Ingeniería en kWh/kWp•mes. Resalta que en los años analizados, en el periodo noviembre - abril existe una mejor captación de energía, lo que coincide con los resultados y conclusiones señaladas anteriormente.

El sistema esta interconectado a la red eléctrica y la energía producida se utiliza en beneficio de la comunidad universitaria de dicha Facultad, suministrando de electricidad a los edificios y generando ahorros para el espacio.



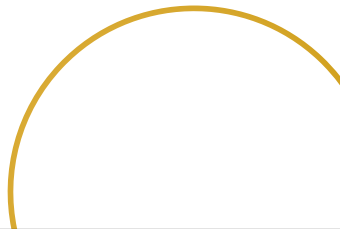
Gráfica 8. Producción específica mensual generada por la planta fotovoltaica de la Facultad de Ingeniería
Fuente: UAEM. Facultad de Ingeniería, 2015.



Análisis comparativo



Aprovechamiento de la Energía
Solar Fotovoltaica en el Estado de México



7. Análisis comparativo de sistemas fotovoltaicos instalados en el Estado de México.

Con la finalidad de analizar los datos de **producción de los sistemas fotovoltaicos** anteriormente presentados, así como de 3 plantas que están registradas en el sistema de SMA, la Facultad de Ingeniería de la UAEM, procedió a normalizar el parámetro de energía eléctrica generada en cada sistema entre la capacidad instalada y unidad de tiempo, es decir, se obtuvo la **Producción específica** medida en kWh/ kWp•mes, lo que permitió hacer una **comparación entre los sistemas**.

La unidad más adecuada para el tiempo es el **periodo de un mes** porque no contempla todas las variaciones diarias del clima pero sí considera la **variación del clima sobre las estaciones del año**. En este sentido, se dividió la producción mensual de cada sistema, analizado entre el número de días del mes, quedando como unidad de medición el **promedio mensual de la producción diaria que tiene un sistema con capacidad de 1 kW**.

Cabe resaltar que la **productividad de un sistema fotovoltaico** no sólo depende de la irradiación en algún sitio, sino también de:

- Orientación de los módulos
- Efectos de sombreado
- Eficiencia nominal de los módulos y del inversor
- Ingeniería de configuración del equipo
- Envejecimiento de los módulos (silicio poli-cristalino)
- Mantenimiento que se da a todas las partes del sistema



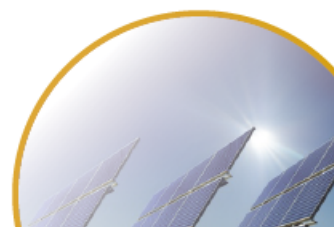
7.1 Resultados obtenidos de la comparación de la producción de energía específica (normalizada) generada en los sistemas fotovoltaicos instalados en el Estado de México

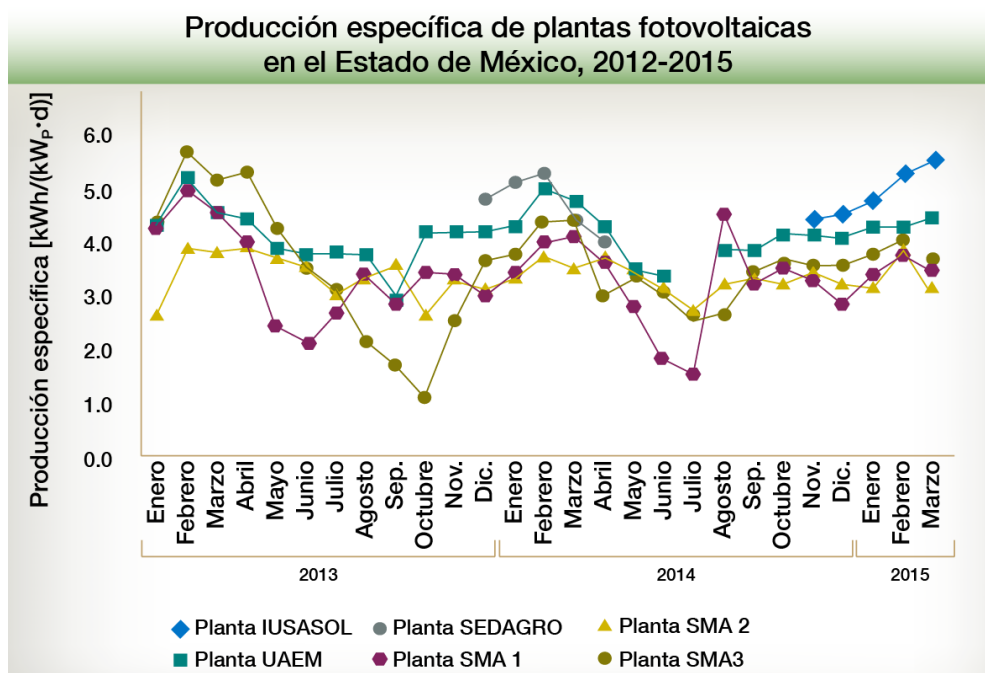
Los resultados obtenidos de la comparación de la producción de energía específica (normalizada) se muestran en la gráfica 9, donde se observa que las plantas ubicadas en **IUSASOL, SEDAGRO y UAEM** tienen un **rendimiento superior** a las plantas SMA1, SMA2 y SMA3, lo que puede ocasionarse debido a que estas plantas tienen una capacidad instalada entre **1 y 5 kWp y los inversores de sistemas de menor potencia tienen un rendimiento más bajo que aquellos empleados en sistemas de mayor capacidad** (gráfica 9).

Lo anterior, debido a que los inversores tienen variación en la conversión de la corriente directa producida por los paneles solares en corriente alterna lista para su uso. Es decir, que los **sistemas fotovoltaicos generan electricidad** en forma de **corriente directa** que para ser usada se debe convertir a **corriente alterna**, lo que trae consigo una **pequeña pérdida de energía** por la naturaleza de los equipos utilizados para ello, son los llamados “inversores de corriente”.

Además, se puede detectar que para la planta SMA 1 y SMA 3 baja más el rendimiento por ciertas temporadas que las demás plantas. Lo cual se pudiera deber a muchos factores, por ejemplo, el sombreado que pudiera llegar a presentarse debido a su ubicación y a una menor altura del sol durante los meses invernales; el ensuciamiento por la falta de limpieza o en un momento dado una desconexión parcial.

El análisis realizado por la Facultad de Ingeniería de la UAEM, permite identificar que la producción de **energía diaria está ligada a la estación del año** y que **existe una buena relación entre la irradiación presente para un sitio y el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos analizados.**



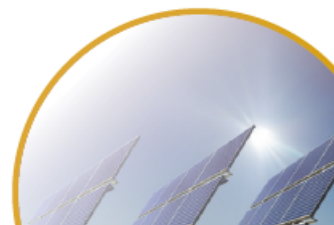


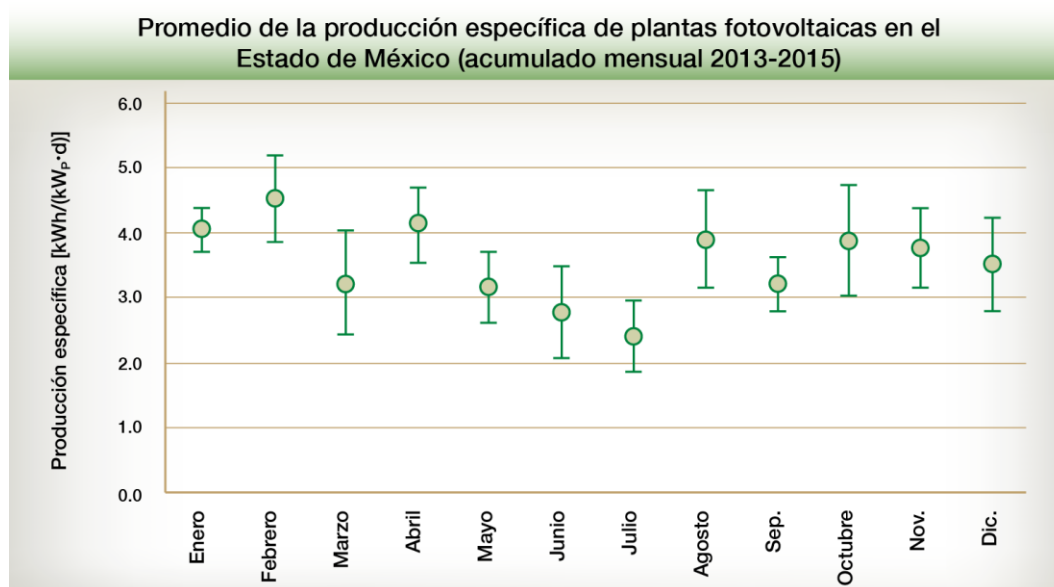
Gráfica 9. Producción específica de plantas fotovoltaicas en el Estado de México, 2013 -2015
Fuente: Estimación de la Facultad de Ingeniería de la UAEM con datos de IUSASOL, SEDAGRO y SMA.

7.2 Análisis de la desviación estándar de la energía generada en los sistemas fotovoltaicos instalados en el Estado de México.

Un **análisis más representativo** de la energía generada por los **sistemas instalados** consiste en tomar el **promedio mensual como indicador de variabilidad y la desviación estándar del conjunto de datos diarios** registrados en la base de datos de Fronius (marca del inversor con el que se cuenta y registra los datos de producción). Derivado del análisis realizado por la Facultad de Ingeniería de la UAEM, se presentaron los siguientes resultados para los sistemas fotovoltaicos analizados (gráfica 10)

- **Existe una mayor producción** de energía en los meses de enero y febrero.
- **La menor producción** de energía se da en junio y julio (son los de mayor nubosidad)





Gráfica 10. Promedio de la producción específica de plantas fotovoltaicas en el Estado de México (acumulado mensual, 2013-2015)

Fuente: Estimación de la Facultad de Ingeniería de la UAEM con datos de IUSASOL, SEDAGRO y SMA.

7.3 Estimación del potencial fotovoltaico en los sistemas instalados en el Estado de México.

Una manera simple de estimar el **potencial fotovoltaico**, es considerar una **irradiancia representativa** de $1,000 \text{ W/m}^2$ en el **punto máximo de luz solar**, por lo que, si tenemos en un día soleado, 4 a 6 horas de irradiancia, nos dará **4 a 6 kWh al día a un metro cuadrado de superficie horizontal**. Lo anterior, considerando que durante las horas de pleno sol los módulos fotovoltaicos están bien orientados y trabajen a su capacidad nominal.

En el caso del municipio de Toluca el proveedor Fronius, reporta que el promedio de la irradiación diaria para el mes de febrero fue de $5.3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.



Los valores obtenidos en la gráfica 9, pueden ser menores porque existen circunstancias como **el calentamiento de los módulos o la eficiencia del inversor** entre muchos más que **reducen el potencial teórico**.

Cabe mencionar que en esta evaluación no entra la eficiencia del módulo fotovoltaico. Su eficiencia tiene mayor importancia para la evaluación del potencial disponible en un espacio restringido o en el análisis de costo beneficio para la instalación de un panel con celdas poli-cristalinas o como alternativa mono-cristalinas.

Para la **evaluación de los efectos secundarios** es mejor referirse al **índice de operación (IO)** de un sistema fotovoltaico lo cual pone en relación **el rendimiento del sistema y la irradiación** presente tomando en cuenta la eficiencia del panel fotovoltaico.

$$IO = \frac{E_{\text{Fotovoltaico diario}}}{q_{\text{Irradiacion diaria}} \cdot A \cdot \eta_{\text{Panel}}}$$

Donde

- E: Energía eléctrica producida
- q: Irradiación diaria promedio
- A: Área de captación de radiación solar
- η : Eficiencia de conversión del módulo

La determinación de este parámetro **requiere de un sensor de irradiancia** en la planta con la misma inclinación que los paneles. Un **índice de operación cercano a 1** indica que la planta está **generando prácticamente la capacidad instalada que tiene**, si este valor se aleja de la unidad, la planta está trabajando mal y esto se puede deber a varios factores que se pueden clasificar en:

Diseño

- Eficiencia del Inversor
- Perdida de energía por los cables de conducción



- Voltaje de los paneles diferente del requerimiento del inversor (por ejemplo se genera un sobre voltaje, cuando demasiados paneles están conectados en serie, con el efecto que el inversor entre en modo de protección)

Operación Diaria

- Calentamiento de los paneles
- Ensuciamiento de los paneles
- Sombra parcial por obstáculos en los alrededores

Operación Prolongada

- Reducción de eficiencia de los paneles sobre todo para paneles policristalinos
- Cortocircuitos por falta de aislamiento de los ductos

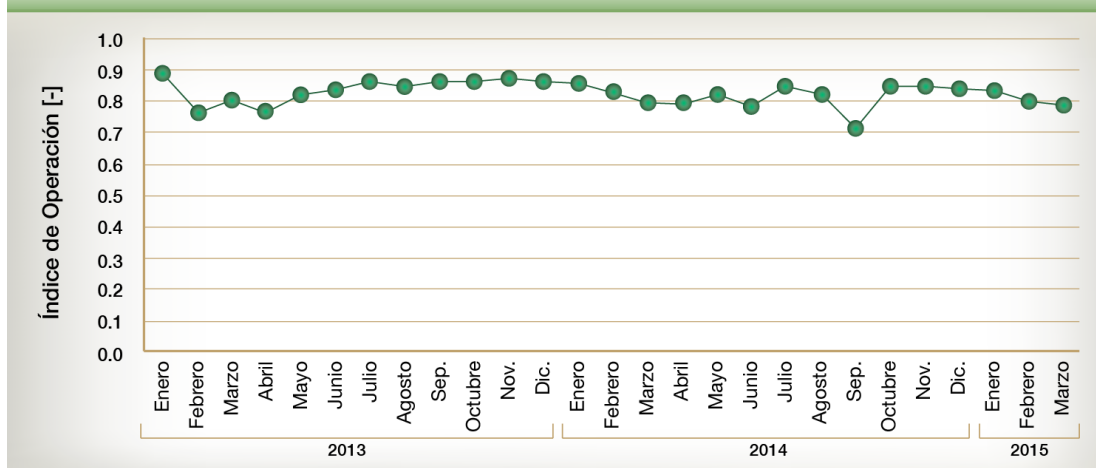
7.4 Potencial fotovoltaico del sistema UAEM

La planta fotovoltaica de la Facultad de Ingeniería de la UAEM cuenta con un sensor de irradiancia por lo que se pudo analizar el **índice de operación**, que se presenta en la gráfica 11. Se observa que este índice está por encima de 0.8 casi todo el año, que es un valor bastante bueno en comparación con otras plantas (Mertens, 2013) De ello se puede concluir que:

- El sistema fue diseñado e instalado adecuadamente
- El mayor índice de operación se produjo en los meses de julio hasta noviembre, debido a la limpieza o a las temperaturas
- De marzo a Junio se presentaron temperaturas de operación menores



Índice de Operación (promedio mensual) de la planta UAEM, 2013-2015



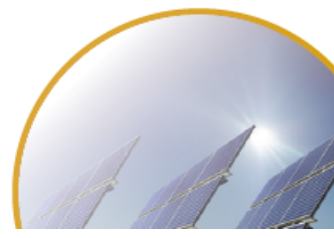
Gráfica 11. Índice de Operación (promedio mensual) de la planta UAEM desde el 2013
Fuente: Estimación de la Facultad de Ingeniería de la UAEM

7.5 Comparación de la producción específica de los sistemas instalados en el Estado de México vs los sistemas en otras entidades

Con el fin de analizar los **efectos que el clima** tiene sobre el desempeño de las plantas fotovoltaicas, la Facultad de Ingeniería de la UAEM comparó la **producción específica** de los sistemas fotovoltaicos analizados del **Estado de México** con los sistemas instalados en **otras entidades** divididos en las siguientes regiones:

1. Región Noroeste
2. Región Norte-Noreste
3. Región Central
4. Región Sureste

Es evidente que los **estados del noroeste** son los estados más favorecidos debido a una **mayor insolación** (gráfica 12). A pesar de ello, la **contaminación del aire en la zona central** es **mayor** que en el resto del país, por lo que el **uso de sistemas fotovoltaicos** ayudaría a **mitigar la emisión de gases de efecto invernadero**.

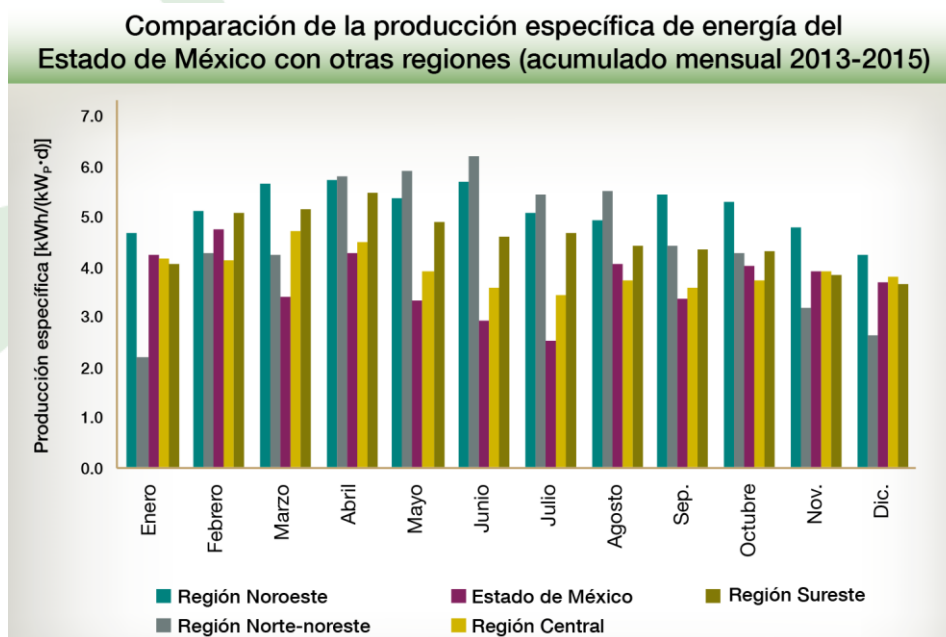


Además de crear en los centros urbanos una red de monitoreo de contaminantes del aire para estimar la magnitud de las fuentes de contaminación con respecto a un clima muy específico y poder correlacionar estos datos con la irradiación medida.

Pero de igual importancia, son los **factores secundarios**:

- **Clima:** precipitación pluvial, temperatura del ambiente, depósito de partículas pueden perjudicar o beneficiar el desempeño de los sistemas.
- **Diseño y mantenimiento de los sistemas.**

Es importante aclarar que los datos de la gráfica 12 , no corresponden a eficiencia, sino a **producción específica**, que es la **energía eléctrica generada diaria promedio mensual** entre la capacidad pico instalada. Por otro lado, sólo se realizó el análisis con valores promedio de producción específica del año 2013 y 2014. Para tener un panorama más real sería preciso realizar el análisis con un periodo de tiempo mayor.



Gráfica 12. Comparación de la producción específica de energía del Estado de México con otras regiones (acumulado mensual 2013-2015)

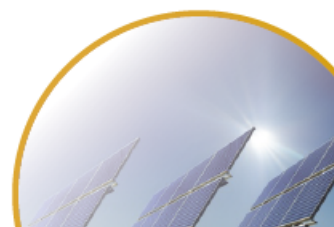
Fuente: Estimación de la Facultad de Ingeniería de la UAEM



Así pues, en esta se observa que si bien es cierto que el **Estado de México** presenta menores valores de producción específica en los meses de abril a agosto, también se observa que durante los meses de **enero y febrero; octubre, noviembre y diciembre**, presenta una **producción específica incluso mayor** que la obtenida para los estados del **norte de la República Mexicana**; esto hace que la producción específica a lo largo del año sea comparable con aquella de la Región Noreste del país y que **la producción acumulada sea prácticamente la misma que la de la Región Central**.

El factor de nubosidad podría ser la principal causa de valores menores para el Estado de México, pero también se debe tomar en cuenta que hay **muy pocas plantas fotovoltaicas instaladas** en comparación con los estados del norte; las plantas que se analizaron en el presente estudio están únicamente instaladas en la zona aledaña a Toluca, que presenta una irradiación menor a 5 kWh/m^2 .

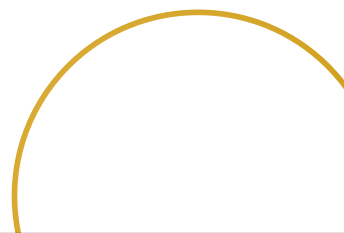
En el **Estado de México**, el **factor clima beneficia la instalación de paneles solares** por lo que la **producción específica estimada**, representada en la gráfica anterior, para los meses de noviembre a abril **puede aumentar significativamente**. Las condiciones climáticas del territorio mexiquense hacen que durante estos meses se combinen **dos factores** que a los sistemas fotovoltaicos, la **baja temperatura y la alta irradiación**.



Factibilidad para la instalación



Aprovechamiento de la Energía
Solar Fotovoltaica en el Estado de México



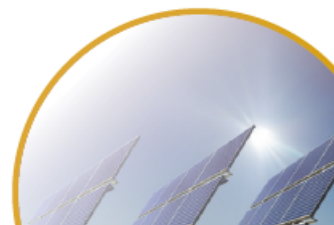
8. Factibilidad de la instalación de sistemas fotovoltaicos en el territorio mexiquense

Con la finalidad de determinar la **factibilidad de la instalación de sistemas fotovoltaicos en el Estado de México**, la UAEM, a través de la Facultad de Ingeniería, realizó una **modelación de la irradiación solar del territorio mexiquense** considerando **latitud, longitud y datos meteorológicos de cada uno de los 125 municipios**. A continuación se describe la metodología usada.

8.1 Modelación de la irradiación solar del Estado de México

A partir del software RAD-II, la Facultad de Ingeniería de la UAEM, determinó el valor de la **irradiación solar** global sobre una superficie horizontal como un valor diario promedio anual para cada uno de los **125 municipios del Estado de México**. Dicho software se basa en los datos meteorológicos de **57 estaciones** proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (Normales Climatológicas, comunicación personal) a lo largo de 40 años, y siguiendo la metodología publicada en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (Almanza, 2005).

Para el presente análisis se ha establecido el **valor de 5 kWh/m² de la irradiación** global horizontal diaria promedio anual como un valor óptimo para la generación de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos, debido a la **disponibilidad del recurso solar en la zona norte del país** (imagen 16), donde se alcanzan valores mayores. Por ejemplo, según el modelo de Almanza (2005), la irradiación promedio anual en la Paz, **Baja California Sur, es de 5.6 kWh/m²**; estado en donde se encuentra ubicado el Parque Solar Aura Solar 1.



Considerando los datos de latitud y longitud de los centros de cada cabecera municipal, se calcularon los siguientes valores de **irradiación solar global horizontal** promedio anual, obteniendo los siguientes datos:

Promedio =	5.01 kWh/m²	Estatal
Mínimo =	4.40 kWh/m²	Otzolotepec
Máximo =	5.90 kWh/m²	Tenancingo

Los datos del análisis realizado por la Facultad de Ingeniería, arrojan que el **Estado de México cuenta con un valor de insolación promedio de 5.01 kWh/m² situándose por arriba de la media nacional**, por lo que desde el punto de vista del recurso solar es un **excelente candidato para la instalación de plantas solares con tecnología fotovoltaica** o fototérmica. Cabe señalar que dicho valor puede ser **mayor** si la **superficie del terreno** se encuentra inclinada con un ángulo igual a la latitud del lugar.

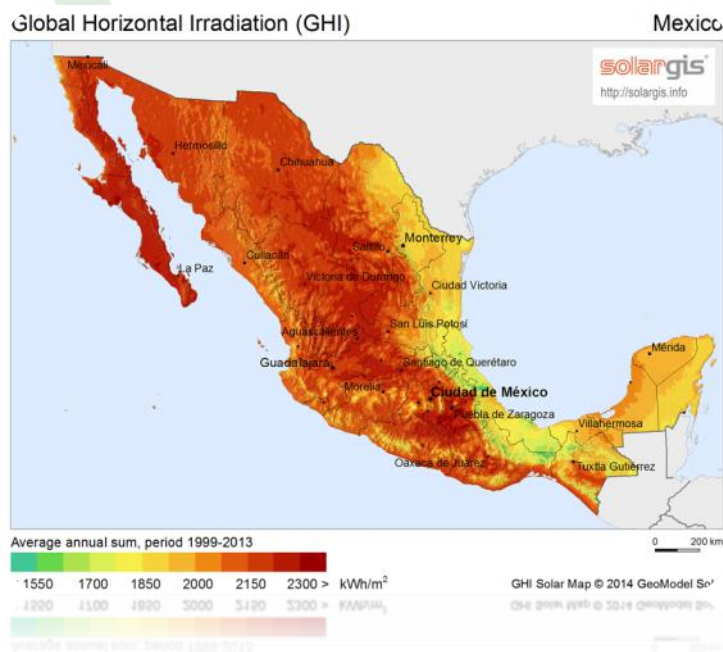
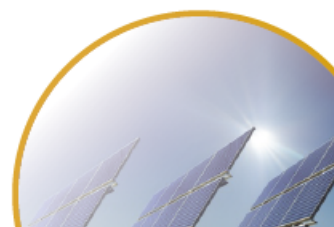


Imagen 16 Irradiación promedio anual
Fuente: Solar GIS, 2014



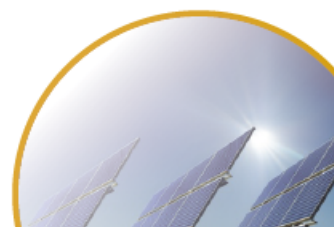
En el caso de una inversión en la instalación y producción de sistemas fotovoltaicos, el criterio para definir **el valor mínimo de la irradiación diaria promedio anual** en un lugar, depende de los **parámetros económicos** con los que se puedan determinar tiempos de retorno del recurso y montos en cada proyecto.

El Estado de México, al contar con un **recurso solar mayor a 4.40 kWh/m²** en todo el territorio, es **candidato para la instalación de sistemas fotovoltaicos competitivos**, considerando las condiciones geofísicas de los sitios con factibilidad para este tipo de infraestructura.

8.2 Radiación solar estimada para los municipios del Estado de México

En el siguiente mapa (figura 16), se representa la **irradiación solar diaria promedio anual** estimada por la Facultad de Ingeniería para los **125 municipios** del Estado de México, que de manera general muestran un **panorama de la distribución del recurso solar**, poniendo en evidencia el amplio potencial de aplicación de las tecnologías fotovoltaicas en el territorio del mexiquense.

A partir del promedio de irradiación anual obtenido se vislumbra **que cualquier instalación de aprovechamiento** de la energía solar tendrá un **desempeño alto y una alta rentabilidad**.



Irradiación solar diaria promedio anual en el Estado de México

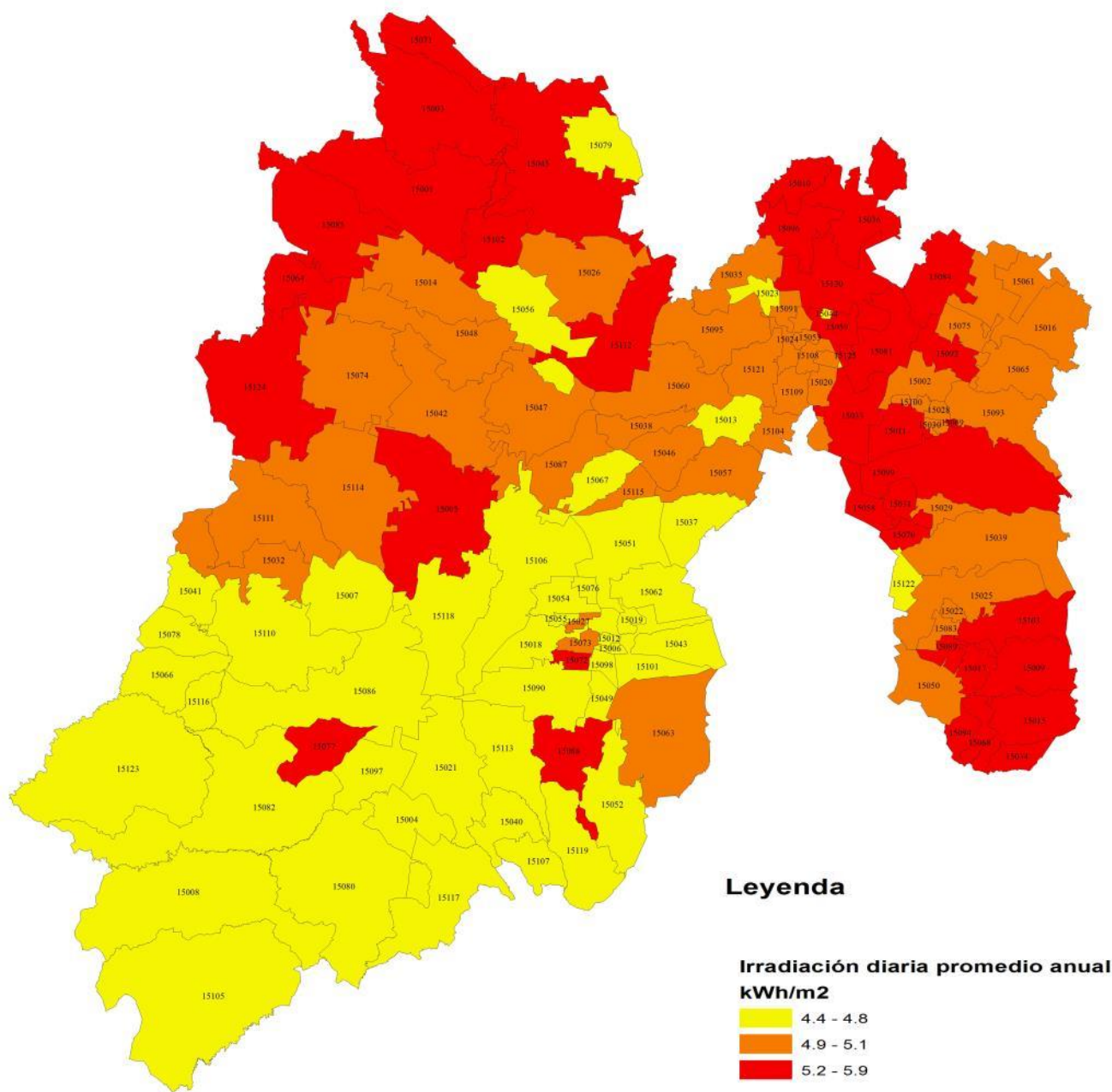


Figura 16 Irradiación solar diaria promedio en el Estado de México
Fuente: Estimación y elaboración de las Facultades de Ingeniería y Geografía de la UAEM



Clave y Nombre de Municipio

<input type="checkbox"/>	15001, Acambay de Ruíz Castañeda
<input type="checkbox"/>	15002, Acolman
<input type="checkbox"/>	15003, Aculco
<input type="checkbox"/>	15004, Almoloya de Alquisiras
<input type="checkbox"/>	15005, Almoloya de Juárez
<input type="checkbox"/>	15006, Almoloya del Río
<input type="checkbox"/>	15007, Amanalco
<input type="checkbox"/>	15008, Amatepec
<input type="checkbox"/>	15009, Amecameca
<input type="checkbox"/>	15010, Apaxco
<input type="checkbox"/>	15011, Atenco
<input type="checkbox"/>	15012, Atizapán
<input type="checkbox"/>	15013, Atizapán de Zaragoza
<input type="checkbox"/>	15014, Atlacomulco
<input type="checkbox"/>	15015, Atlautla
<input type="checkbox"/>	15016, Axapusco
<input type="checkbox"/>	15017, Ayapango
<input type="checkbox"/>	15018, Calimaya
<input type="checkbox"/>	15019, Capulhuac
<input type="checkbox"/>	15020, Coacalco de Berriozábal
<input type="checkbox"/>	15021, Coatepec Harinas
<input type="checkbox"/>	15022, Cocotitlán
<input type="checkbox"/>	15023, Coyotepec
<input type="checkbox"/>	15024, Cuautitlán
<input type="checkbox"/>	15025, Chalco
<input type="checkbox"/>	15026, Chapa de Mota
<input type="checkbox"/>	15027, Chapultepec
<input type="checkbox"/>	15028, Chiautla
<input type="checkbox"/>	15029, Chicoloapan
<input type="checkbox"/>	15030, Chiconcuac
<input type="checkbox"/>	15031, Chimalhuacán
<input type="checkbox"/>	15032, Donato Guerra
<input type="checkbox"/>	15033, Ecatepec de Morelos
<input type="checkbox"/>	15034, Ecatepec
<input type="checkbox"/>	15035, Huehuetoca
<input type="checkbox"/>	15036, Hueypoxtla
<input type="checkbox"/>	15037, Huixquilucan

<input type="checkbox"/>	15038, Isidro Fabela
<input type="checkbox"/>	15039, Ixtapaluca
<input type="checkbox"/>	15040, Ixtapan de la Sal
<input type="checkbox"/>	15041, Ixtapan del Oro
<input type="checkbox"/>	15042, Ixtlahuaca
<input type="checkbox"/>	15043, Xalatlaco
<input type="checkbox"/>	15044, Jaltenco
<input type="checkbox"/>	15045, Jilotepec
<input type="checkbox"/>	15046, Jilotzingo
<input type="checkbox"/>	15047, Jiquipilco
<input type="checkbox"/>	15048, Jocotitlán
<input type="checkbox"/>	15049, Joquicingo
<input type="checkbox"/>	15050, Juchitepec
<input type="checkbox"/>	15051, Lerma
<input type="checkbox"/>	15052, Malinalco
<input type="checkbox"/>	15053, Melchor Ocampo
<input type="checkbox"/>	15054, Metepec
<input type="checkbox"/>	15055, Mexicaltzingo
<input type="checkbox"/>	15056, Morelos
<input type="checkbox"/>	15057, Naucalpan de Juárez
<input type="checkbox"/>	15058, Nezahualcóyotl
<input type="checkbox"/>	15059, Nextlalpan
<input type="checkbox"/>	15060, Nicolás Romero
<input type="checkbox"/>	15061, Nopaltepec
<input type="checkbox"/>	15062, Ocoyoacac
<input type="checkbox"/>	15063, Ocuilán
<input type="checkbox"/>	15064, El Oro
<input type="checkbox"/>	15065, Otumba
<input type="checkbox"/>	15066, Oztoloapan
<input type="checkbox"/>	15067, Oztolotepec
<input type="checkbox"/>	15068, Ozumba
<input type="checkbox"/>	15069, Papalotla
<input type="checkbox"/>	15070, La Paz
<input type="checkbox"/>	15071, Polotitlán
<input type="checkbox"/>	15072, Rayón
<input type="checkbox"/>	15073, San Antonio la Isla
<input type="checkbox"/>	15074, San Felipe del Progreso
<input type="checkbox"/>	15075, San Martín de las Pirám
<input type="checkbox"/>	15076, San Mateo Atenco
<input type="checkbox"/>	15077, San Simón de Guerrero
<input type="checkbox"/>	15078, Santo Tomás
<input type="checkbox"/>	15079, Soyaniquilpan de Juárez
<input type="checkbox"/>	15080, Sultepec
<input type="checkbox"/>	15081, Tecámac
<input type="checkbox"/>	15082, Tejupilco



El desglose del valor de la **irradiación por cada municipio** se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9. Irradiación solar diaria promedio anual en el Estado de México

No.	Municipio	Cabecera municipal	Habitantes (año 2010)	Latitud [°]	Longitud [°]	Irradiación [kWh/m ²]
1	Acambay	Acambay	60,918	19.95	-99.84	5.32
2	Acolman	Acolman de Nezahualcóyotl	136,558	19.64	-98.91	5.11
3	Aculco	Aculco de Espinoza	44,823	20.10	-99.83	5.80
4	Almoloya de Alquisiras	Almoloya de Alquisiras	14,856	18.85	-99.85	4.73
5	Almoloya de Juárez	Villa de Almoloya de Juárez	147,653	19.37	-99.07	5.13
6	Almoloya del Río	Almoloya del Río	10,886	19.16	-99.49	4.81
7	Amanalco	Amanalco de Becerra	22,868	19.25	-100.02	4.79
8	Amatepec	Amatepec	26,334	18.65	-100.15	4.76
9	Amecameca	Amecameca de Juárez	48,421	19.12	-98.77	5.21
10	Apaxco	Apaxco de Ocampo	27,521	19.98	-99.17	5.18
11	Atenco	San Salvador Atenco	56,243	19.55	-98.92	5.13
12	Atizapán	Santa Cruz Atizapán	10,299	19.18	-99.49	4.81
13	Atizapán de Zaragoza	Ciudad López Mateos	489,937	22.00	-98.00	4.48
14	Atlacomulco	Atlacomulco de Fabela	93,718	19.72	-99.87	5.11
15	Atlautla	Atlautla de Victoria	27,663	19.03	-98.78	5.21
16	Axapusco	Axapusco	25,559	19.72	-98.80	5.13
17	Ayapango	Ayapango de Gabriel Ramos	8,864	19.13	-98.80	5.18
18	Calimaya	Calimaya de Díaz González	47,033	19.16	-99.62	4.78
19	Capulhuac	Capulhuac de Mirafuentes	34,101	19.20	-99.47	4.46
20	Coacalco de Berriozábal	San Francisco Coacalco	278,064	19.64	-99.10	5.10
21	Coatepec Harinas	Coatepec Harinas	36,174	18.90	-99.72	4.76
22	Cocotitlán	Cocotitlán	12,142	19.22	-98.85	5.08
23	Coyotepec	Coyotepec	39,030	19.78	-99.21	4.78
24	Cuautitlán	Cuautitlán	140,059	19.67	-99.18	5.10
25	Chalco	Chalco de Díaz Covarrubias	310,130	19.27	-98.90	5.08
26	Chapa de Mota	Chapa de Mota	27,551	19.81	-99.53	5.06
27	Chapultepec	Chapultepec	9,676	19.22	-98.85	5.08
28	Chiautla	Chiautla	26,191	19.55	-98.88	5.13
29	Chicoloapan	Chicoloapan de Juárez	175,053	19.41	-98.90	5.13
30	Chiconcuac	Chiconcuac de Juárez	22,819	19.55	-98.90	5.13
31	Chimalhuacán	Chimalhuacán	614,453	19.44	-98.95	5.13
32	Donato Guerra	Villa Donato Guerra	33,455	19.40	-100.32	4.97
33	Ecatepec de Morelos	Ecatepec de Morelos	1,656,107	19.60	-99.05	5.13
34	Ecatzingo	Ecatzingo de Hidalgo	9,369	18.95	-98.75	5.21
35	Huehuetoca	Huehuetoca	100,023	19.83	-99.21	5.10



Tabla 9. Irradiación solar diaria promedio anual en el Estado de México

No.	Municipio	Cabecera municipal	Habitantes	Latitud	Longitud	Irradiación
36	Hueypoxtla	Hueypoxtla	39,864	19.91	-99.08	5.21
37	Huixquilucan	Huixquilucan de Degollado	242,167	19.36	-99.35	4.81
38	Isidro Fabela	Tlazala de Fabela	10,308	19.57	-99.42	4.91
39	Ixtapaluca	Ixtapaluca	467,361	19.32	-98.88	5.08
40	Ixtapan de la Sal	Ixtapan de la Sal	33,541	18.83	-99.68	4.80
41	Ixtapan del Oro	Ixtapan del Oro	6,629	19.25	-100.26	4.84
42	Ixtlahuaca	Ixtlahuaca de Rayón	141,482	19.57	-99.77	4.90
43	Xalatlaco	Xalatlaco	26,865	19.18	-99.42	4.81
44	Jaltenco	Jaltenco	26,328	19.55	-98.92	4.78
45	Jilotepec	Jilotepec de Molina Enríquez	83,755	19.95	-99.53	5.20
46	Jilotzingo	Santa Ana Jilotzingo	17,970	19.40	-99.23	4.97
47	Jiquipilco	Jiquipilco	69,031	19.56	-99.61	4.97
48	Jocotitlán	Jocotitlán	61,204	19.71	-99.79	5.08
49	Joquicingo	Joquicingo de León Guzmán	12,840	19.06	-99.55	4.80
50	Juchitepec	Juchitepec de Mariano Rivapalacio	23,497	19.10	-98.88	5.08
51	Lerma	Lerma de Villada	134,799	19.28	-99.51	4.81
52	Malinalco	Malinalco	25,624	18.95	-99.50	4.80
53	Melchor Ocampo	Melchor Ocampo	50,240	19.71	-99.14	5.10
54	Metepec	Metepec	214,162	19.25	-99.60	4.78
55	Mexicaltzingo	San Mateo Mexicaltzingo	11,712	19.21	-99.59	4.78
56	Morelos	San Bartolo Morelos	28,426	19.73	-99.63	4.78
57	Naucalpan de Juárez	Naucalpan de Juárez	833,779	19.48	-99.24	4.97
58	Nextlalpan	Ciudad Nezahualcóyotl	34,374	19.55	-98.92	5.13
59	Nezahualcóyotl	Santa Ana Nextlalpan	1,110,565	19.40	-98.99	5.13
60	Nicolás Romero	Villa Nicolás Romero	366,602	19.63	-99.40	5.08
61	Nopaltepec	Nopaltepec	8,895	19.78	-98.71	5.13
62	Ocoyoacac	Ocoyoacac	61,805	18.27	-99.47	4.82
63	Ocuilan	Ocuilan de Arteaga	31,803	19.14	-99.27	4.90
64	El Oro	El Oro de Hidalgo	34,446	19.80	-100.13	5.16
65	Otumba	Otumba de Gómez Farías	34,232	19.70	-98.75	5.13
66	Otzoloapan	Otzoloapan	4,864	19.12	-100.30	4.76
67	Otzolotepec	Villa Cuauhtémoc	78,146	18.57	-97.25	4.40
68	Ozumba	Ozumba de Alzate	27,207	19.04	-98.79	5.21
69	Papalotla	Papalotla	4,147	19.56	-98.86	5.13
70	La Paz	Los Reyes Acaquilpan	253,845	20.37	-98.98	5.14
71	Polotitlán	Polotitlán de la Ilustración	13,002	20.22	-99.81	5.40
72	Rayón	Santa María Rayón	12,748	19.56	-98.86	5.13



Tabla 9. Irradiación solar diaria promedio anual en el Estado de México

No.	Municipio	Cabecera municipal	Habitantes	Latitud	Longitud	Irradiación
73	San Antonio la Isla	San Antonio la Isla	22,152	19.71	-99.79	5.08
74	San Felipe del Progreso	San Felipe del Progreso	121,396	19.72	-99.95	5.11
75	San Martín de las Pirámides	San Martín de las Pirámides	24,851	19.73	-98.82	5.13
76	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	72,579	19.25	-99.52	4.81
77	San Simón de Guerrero	San Simón de Guerrero	6,272	21.00	-100.01	5.62
78	Santo Tomás	Santo Tomás de los Plátanos	9,111	19.18	-100.27	4.84
79	Soyaniquilpan de Juárez	San Francisco Soyaniquilpan	11,798	18.02	-99.53	4.78
80	Sultepec	Sultepec de Pedro Ascencio de Alquisiras	25,809	18.87	-99.95	4.72
81	Tecámac	Tecámac de Felipe Villanueva	364,579	19.70	-98.97	5.14
82	Tejupilco	Tejupilco de Hidalgo	71,077	18.91	-100.15	4.76
83	Temamatla	Temamatla	11,206	19.20	-98.87	5.08
84	Temascalapa	Temascalapa	35,987	19.80	-98.90	5.14
85	Temascalcingo	Temascalcingo de José María Velasco	62,695	19.91	-100.00	5.32
86	Temascaltepec	Temascaltepec de González	32,870	19.04	-100.04	4.75
87	Temoaya	Temoaya	90,010	19.47	-99.59	4.90
88	Tenancingo	Tenancingo de Degollado	90,946	18.96	-98.59	5.90
89	Tenango del Aire	Tenango del Aire	10,578	19.00	-98.00	5.25
90	Tenango del Valle	Tenango de Arista	77,965	19.14	-99.75	4.78
91	Teoloyucán	Teoloyucan	63,115	19.74	-99.18	5.10
92	Teotihuacán	Teotihuacán de Arista	53,010	19.68	-98.87	5.14
93	Tepetlaoxtoc	Tepetlaoxtoc de Hidalgo	27,944	19.57	-98.82	5.11
94	Tepetlixpa	Tepetlixpa	18,327	19.00	-98.82	5.21
95	Tepotzotlán	Tepotzotlán	88,559	19.72	-99.22	5.10
96	Tequixquiac	Tequixquiac	33,907	19.90	-99.15	5.18
97	Texcaltitlán	Texcaltitlán	17,390	18.93	-99.94	4.75
98	Texcalyacac	San Mateo Texcalyacac	5,111	19.13	-99.49	4.81
99	Texcoco	Texcoco de Mora	235,151	19.53	-98.90	5.13
100	Tezoyuca	Tezoyuca	35,199	19.75	-99.18	5.10
101	Tianguistenco	Santiago Tianguistenco de Galeana	70,682	19.12	-99.43	4.80
102	Timilpan	San Andrés Timilpan	15,391	19.87	-99.73	5.26
103	Tlalmanalco	Tlalmanalco de Velázquez	46,130	19.20	-98.80	5.18
104	Tlalnepantla de Baz	Tlalnepantla	664,225	19.54	-99.23	4.97
105	Tlatlaya	Tlatlaya	32,997	18.62	-100.21	4.76
106	Toluca	Toluca de Lerdo	819,561	19.29	-99.65	4.78
107	Tonatico	Tonatico	12,099	18.81	-99.67	4.80
108	Tultepec	Tultepec	91,808	19.69	-99.13	5.10
109	Tultitlán	Tultitlán de Mariano Escobedo	524,074	19.65	-99.17	5.10
110	Valle de Bravo	Valle de Bravo	61,599	19.19	-100.13	4.84



Tabla 9. Irradiación solar diaria promedio anual en el Estado de México

No.	Municipio	Cabecera municipal	Habitantes	Latitud	Longitud	Irradiación
111	Villa de Allende	San José Villa de Allende	47,709	19.37	-100.15	4.95
112	Villa del Carbón	Villa del Carbón	44,881	19.73	-99.54	5.54
113	Villa Guerrero	Villa Guerrero	59,991	18.97	-99.65	4.76
114	Villa Victoria	Villa Victoria	94,369	19.43	-100.00	4.95
115	Xonacatlán	Xonacatlán	46,331	19.40	-99.53	4.91
116	Zacazonapan	Zacazonapan	4,051	19.07	-100.25	4.76
117	Zacualpan	Zacualpan	15,121	18.72	-99.78	4.80
118	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	167,759	19.28	-99.73	4.78
119	Zumpahuacán	Zumpahuacán	16,365	18.83	-99.58	4.84
120	Zumpango	Zumpango de Ocampo	159,647	19.80	-99.10	5.18
121	Cuautitlán Izcalli	Cuautitlán Izcalli	511,675	19.65	-99.25	5.10
122	Valle de Chalco Solidaridad	Xico	357,645	19.35	-98.98	4.84
123	Luvianos	Villa Luvianos	27,781	18.92	-100.30	4.76
124	San José del Rincón	San José del Rincón Centro	91,345	19.66	-100.16	5.16
125	Tonanitla	Santa María Tonanitla	10,216	19.69	-99.05	5.14

Fuente: Estimación y elaboración de las Facultad de Ingeniería la UAEM



Los resultados obtenidos de la modelación de la irradiación solar para los municipios del Estado de México, realizada por la Facultad de Ingeniería, se concluye que **68 de los 125 Municipios**, cuentan con un recurso solar que permite la instalación de sistemas **fotovoltaicos con un desempeño competitivo** ya que el valor de la **irradiación diaria promedio anual es mayor a 5kWh/m²** (tabla 10).

Tabla 10. Municipios con irradiación solar mayor a 5kWh/m²

No	Municipio	Irradiación	No	Municipio	Irradiación
1	Tenancingo	5.90	35	Papalotla	5.13
2	Aculco	5.80	36	Rayón	5.13
3	San Simón de Guerrero	5.62	37	Texcoco	5.13
4	Villa del Carbón	5.54	38	Axapusco	5.13
5	Polotitlán	5.40	39	Chiautla	5.13
6	Acambay	5.32	40	Chicoloapan	5.13
7	Temascalcingo	5.32	41	Chiconcuac	5.13
8	Timilpan	5.26	42	Nopaltepec	5.13
9	Tenango del Aire	5.25	43	Otumba	5.13
10	Hueypoxtla	5.21	44	San Martín de las Pirámides	5.13
11	Amecameca	5.21	45	Tepetlaoxtoc	5.11
12	Atlautla	5.21	46	Acolman	5.11
13	Ecatzingo	5.21	47	Atlacomulco	5.11
14	Ozumba	5.21	48	San Felipe del Progreso	5.11
15	Tepetlixpa	5.21	49	Coacalco de Berriozábal	5.10
16	Jilotepec	5.20	50	Huehuetoca	5.10
17	Apaxco	5.18	51	Melchor Ocampo	5.10
18	Tequixquiac	5.18	52	Teoloyucán	5.10
19	Zumpango	5.18	53	Tepotzotlán	5.10
20	Ayapango	5.18	54	Tezoyuca	5.10
21	Tlalmanalco	5.18	55	Tultepec	5.10
22	El Oro	5.16	56	Tultitlán	5.10
23	San José del Rincón	5.16	57	Cuautitlán Izcalli	5.10
24	Tecámac	5.14	58	Cuautitlán	5.10
25	Temascalapa	5.14	59	Juchitepec	5.08
26	Teotihuacán	5.14	60	Jocotitlán	5.08
27	Tonanitla	5.14	61	Nicolás Romero	5.08
28	La Paz	5.14	62	San Antonio la Isla	5.08
29	Almoloya de Juárez	5.13	63	Cocotitlán	5.08
30	Atenco	5.13	64	Chalco	5.08
31	Chimalhuacán	5.13	65	Chapultepec	5.08
32	Ecatepec de Morelos	5.13	66	Ixtapaluca	5.08
33	Nextlalpan	5.13	67	Temamatla	5.08
34	Nezahualcóyotl	5.13	68	Chapa de Mota	5.06

Fuente: Estimación de la Facultad de Ingeniería de la UAEM



Considerando los parámetros establecidos a nivel nacional, podemos decir que el **54% del territorio mexiquense** cuenta con las **mejores condiciones físicas, geográficas y climáticas para generar energía solar** a través de paneles fotovoltaicos.

Para el **46% de los municipios** restantes **también se puede considerar la instalación de sistemas fotovoltaicos** derivado de que la **irradiación oscila entre 4.4 y 4.9 kWh/m²** valor que está por encima del de países como Alemania, quien tiene la mayor capacidad instalada de estos sistemas y una irradiación promedio diaria de **3.2 kWh/m²**. Adicionalmente, mientras que la mayoría de las ciudades alemanas solo recibe 4 horas diarias de insolación el Estado de México tiene 5.7 horas.

Los resultados estimados arrojan que **Tenancingo** es el municipio que cuenta con **mayor índice de radiación solar en el Estado de México** (figura 17), con **5.9 kWh/m²**, seguido de **Aculco** (5.8 kWh/m²), **San Simón de Guerrero** (5.6 kWh/m²) **Villa del Carbón** (5.5 kWh/m²) y **Polotitlán** (5.4 kWh/m²).

Municipios con irradiación solar diferente al entorno

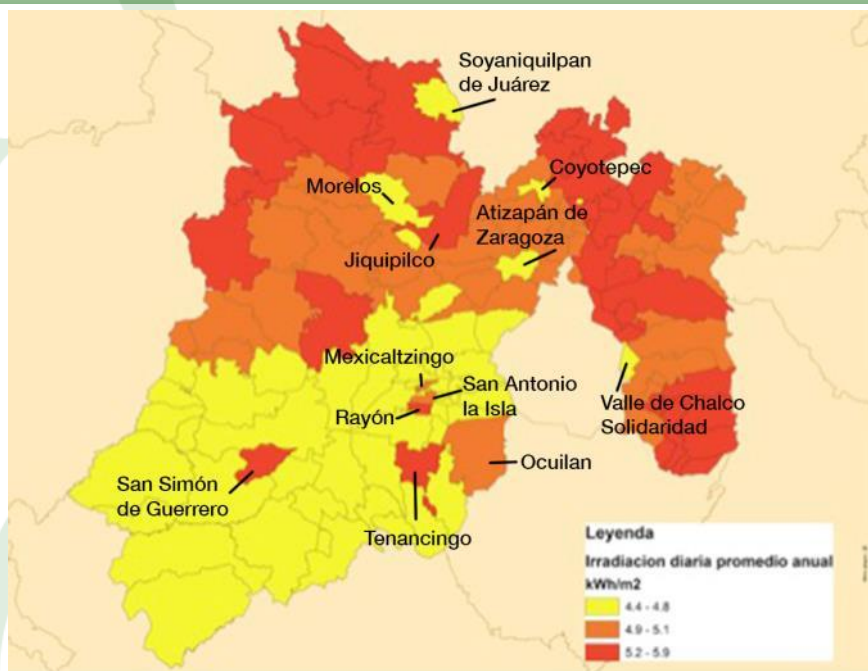


Figura 17 Municipios con irradiación solar diferente al entorno

Fuente: Estimación y elaboración de las Facultades de Ingeniería y Geografía de la UAEM



La **irradiación captada** en un sitio, depende de diversos factores como la **ubicación geográfica, latitud, elevación y ángulo de incidencia de la luz solar**, la **forma del terreno** permite que algunas zonas capten mayor energía que otras y por último, el **sistema climático**; en el que zonas menos húmedas van a presentar menos nubosidad y por lo tanto mejores condiciones para la captación.

Como muestra la figura 17, en el caso específico del municipio de **Tenancingo** presenta **mayor captación** de irradiación solar en el estado con **5.9 kWh/m²**, el valor de irradiación se ve favorecido por su **ubicación** en una meseta rodeada de una **pequeña cordillera**, lo que genera un **micro clima en esta región**.

De igual forma, municipios como **San Simón de Guerrero, Tenancingo, Ocuilan, Mexicaltzingo, Rayón y San Antonio la Isla** cuentan con una **irradiación solar mayor** que los que se encuentran a su **alrededor**. Resalta el municipio de **San Simón de Guerrero**, con una irradiación de **5.62 kWh/m²** a diferencia de los demás municipios de la zona sur los cuales presentan una irradiación de promedio de **4.7 kWh/m²**, sin embargo, por tener valores mayores a **4.4 kWh/m²** la zona **sur también es apta para la captación de energía solar**.

Por otro lado, el municipio con **menor potencia de irradiación** es el municipio de **Otzolotepec** con un valor de irradiación de **4.40 kWh/m²**.

A continuación se presenta el listado (tabla 11) de los municipios mexiquenses que presentan una irradiación diaria promedio estimada por debajo de los **4.8 kWh/m²**, resaltando que únicamente 3 de ellos están por debajo de los **4.5 kWh/m²**.

Tabla 11. Municipios con menor irradiación solar (kWh/m²)

Posición	Municipio	Irradiación	Posición	Municipio	Irradiación
125	Otzolotepec	4.40	117	Villa Guerrero	4.76
124	Capulhuac	4.46	116	Amatepec	4.76
123	Atizapán de Zaragoza	4.48	115	Otzoloapan	4.76
122	Sultepec	4.72	114	Tejupilco	4.76
121	Almoleya de Alquisiras	4.73	113	Tlatlaya	4.76
120	Temascaltepec	4.75	112	Zacazonapan	4.76
119	Texcaltitlán	4.75	111	Luvianos	4.76
118	Coatepec Harinas	4.76			

Fuente: Estimación y elaboración de la Facultades de Ingeniería, Geografía y Ciencias de la UAEM



8.3 Beneficios al instalar celdas fotovoltaicas en el Estado de México

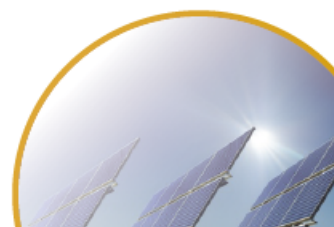
Actualmente, el **Estado de México** es uno de los estados con **menor aprovechamiento de los recursos naturales para la generación de energía renovable**, por lo que la **instalación de plantas fotovoltaicas** permitiría cubrir algunas de las necesidades de **abastecimiento eléctrico** de manera distribuida, siendo este uno de los elementos de la sustentabilidad energética.

Si se **instalarán sistemas fotovoltaicos que cubrieran los 10 municipios más poblados del Estado de México** y considerando su potencial de irradiación solar diario, estimado, mayor a 5 kWh/m², **se beneficiaría a un total de 6,203,610 habitantes**, lo que representa el **41% del total de la población mexiquense (tabla 12)**.

Tabla 12. Municipios con mayor número de habitantes e irradiación solar mayor a 5 kWh/m²

Municipio	Habitantes	Irradiación
Ecatepec de Morelos	1,656,107	5.13
Nezahualcóyotl	1,110,565	5.13
Chimalhuacán	614,453	5.13
Tultitlán	524,074	5.10
Cuautitlán Izcalli	511,675	5.10
Ixtapaluca	467,361	5.08
Nicolás Romero	366,602	5.08
Tecámac	364,579	5.14
Chalco	310,130	5.08
Coacalco de Berriozábal	278,064	5.10

Fuente: Estimación y elaboración de la Facultades de Ingeniería, Geografía y Ciencias de la UAEM



Existen municipios del Estado de México que presentan **altas densidades poblacionales**, el mayor número de unidades económicas y que cuentan con altos valores de irradiación solar. En ellos sería altamente **recomendada** la **implementación de energía solar sustentable**. La figura 18 relaciona la irradiación en los municipios, y la relaciona con la densidad poblacional y la presencia de unidades económicas.

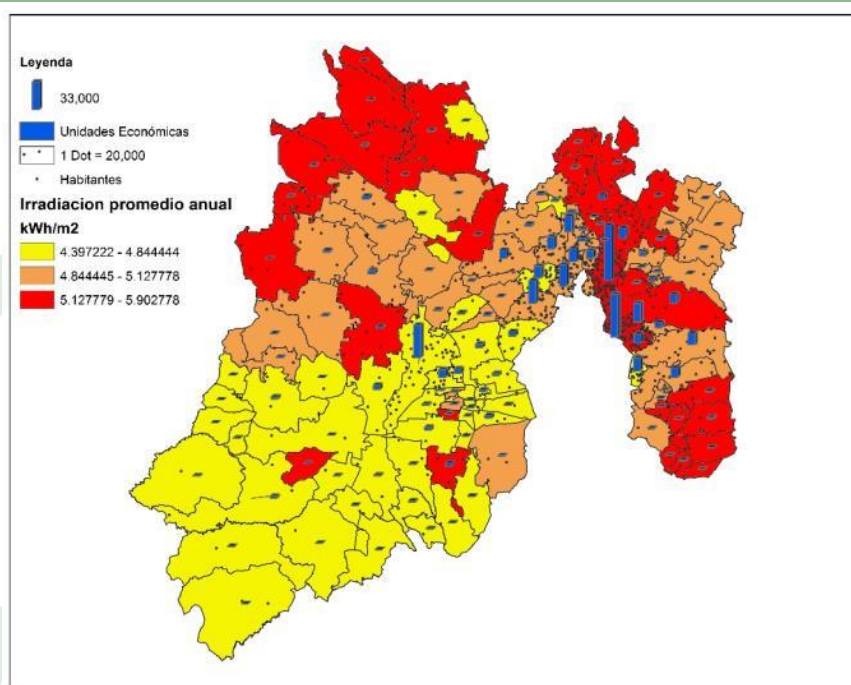
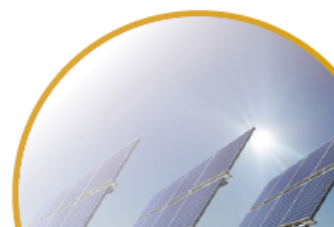
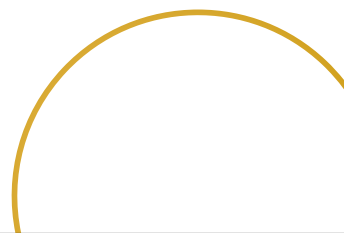


Figura 18 Relación entre irradiación solar, densidad poblacional y unidades económicas por municipio del Estado de México.
Fuente: DENUE, 2010



Estado de México

Potencial generador de energía solar



9. Estado de México, potencial generador de energía solar

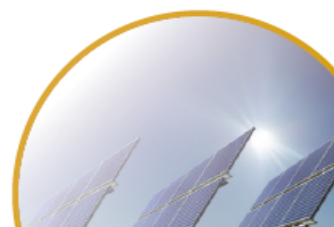
Como respuesta a los retos que en materia de energía que enfrenta el país, es necesario contar con políticas públicas que permitan **investigar, invertir, explorar y explotar las fuentes de energía renovables de manera responsable**, cuidando en todo momento de evitar daños mayores al medio ambiente.

Derivado de la aprobación de la Ley General de Cambio Climático, la Reforma Energética y las Leyes secundarias promovidas por el Gobierno Federal, el sector de las **energías renovables** en México, se ha convertido en un mercado de gran potencial.

En el caso del uso energía solar como fuente generadora de energía eléctrica, México presenta avances. Sin embargo, la mayor parte de las centrales generadoras de energía eléctrica fotovoltaica conectadas a la CFE se encuentran ubicadas en la zona norte y occidente del país, **por lo que la instalación de un parque fotovoltaico es un mercado potencial en la zona centro del territorio nacional**.

Un impulso al uso de energías renovables y un nicho de oportunidad para el país, sería **la producción nacional de celdas solares**, permitiendo reducir los costos de inversión al disminuir la importación de tecnología extranjera.

La **producción e instalación de sistemas fotovoltaicos**, aportará en la disminución nacional del uso de hidrocarburos, apoyando la **cobertura y distribución del servicio eléctrico en el país**, a bajo costo y sin daño al ambiente.



El Estado de México es el principal consumidor de energía eléctrica del país, por lo que la **instalación de centrales generadoras de energía solar**, conectadas a la CFE, facilitaría el suministro de **electricidad a la región mexiquense**.

Derivado del análisis realizado por investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de México a los aspectos geográficos del territorio mexiquense, se determinó que, por su **ubicación, relieve y clima**, el Estado de México cuenta con las **condiciones idóneas** para la instalación de celdas fotovoltaicas:

Ubicación:

- **Garantiza la recepción de energía solar** constante a lo largo del año, al encontrarse en la franja intertropical donde las fluctuaciones de la radiación solar son mínimas.
- Cuenta con los **terrenos más elevados de la república, permitiendo una mayor captación de energía solar**.
- Cuenta con regiones cuyo **territorio está orientado hacia el sotavento**, donde la incidencia solar es mayor por la escasez del viento.
- La forma del terreno demuestra que **más del 50 % del territorio tiene lados orientados hacia las regiones de mayor captación solar** (Norte, Este y Oeste).
- Los tipos de **climas** en la región **Norte y Centro** favorecen la **mayor captación** al contar con **poca nubosidad**.
- Cuenta con una temperatura promedio de 18°C lo que permitiría la **instalación de paneles fotovoltaicos con una eficiencia óptima, ahorrando costos de mantenimiento**.



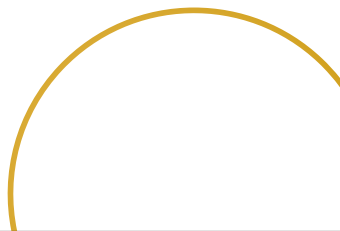
Nivel de irradiación

- Los datos del análisis realizado por la Facultad de Ingeniería, arrojan que el **Estado de México cuenta con un valor de insolación promedio de 5.01 kWh/m² situándose por arriba de la media nacional.**
- El **54%** del **territorio mexiquense** presenta una **irradiación** diaria promedio anual mayor a **5kWh/m²**. Por lo que es factible la instalación de sistemas fotovoltaicos en esta región, **logrando un desempeño competitivo.**
- En el **46%** de los municipios restantes también se puede considerar la instalación de plantas solares derivado de que **la irradiación** oscila entre **4.4 y 4.9 kWh/m²**; valores que podrían **aumentar** considerablemente dependiendo del **proceso de instalación y del mantenimiento a los paneles.**
- El análisis realizado a los 125 municipios del Estado de México, determinó que el municipio de **Tenancingo**, tiene la **mayor captación** de irradiación solar con **5.9 kWh/m²**. El municipio se ve favorecido por su **ubicación** en una meseta rodeada de una **pequeña cordillera**, lo que genera un **micro clima en esta región.**
- Resalta el municipio de **San Simón de Guerrero**, ubicado en el sur del estado con una irradiación de **5.62 kWh/m²** a diferencia de los demás municipios de región que presentan una irradiación de promedio de 4.7 kWh/m².
- Al tener valores mayores a 4.4 kWh/m² la zona **sur del estado también es apta para la captación de energía solar.**

Una vez analizadas las condiciones del Estado de México, por parte de la Facultades de Geografía, Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México, se puede concluir que si bien la **distribución de la radiación solar es más elevada en algunas regiones, en todo el territorio mexiquense se presentan condiciones óptimas para su captación, ya que se encuentra en una zona intertropical que favorece la incidencia de energía solar.**



Referencias



10. Referencias

Abella M. (2014). Notas del Master en Energías Renovables y Mercado Energético, CIEMAT, Disponible en http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf

Almanza, R. y Estrada-Cajigal, V. (2005). Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal, en la República Mexicana. Serie de Investigación y Desarrollo del Instituto de Ingeniería, (SID 646), UNAM. ISBN 970-3226612.

Bruntland, G. (ed.) (1987). "Our common future: The World Commission on Environment and Development", United Nations, Oxford University Press.

Cohen-Tannoudji C., (2005). Quantum Mechanics, Claude Cohen-Tannoudji, Wiley-VCH.

CONACYT (2014). Agencia Informativa. México es el segundo país latinoamericano con mayor capacidad solar instalada. [En línea] Disponible en: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/energia/486-nota-20-nov-la-central-mas-grande-de-generacion-fotovoltaica-en-mexico-y-en-latinoamerica>

CONAPO (2010). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010.

DENUE, (2010). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas.

ESRI, (2013) World Topo Map. Escala 1: 72 000. USGS, ESRI. Environmental Systems Research Institute (ESRI) Reedlands, CA. [En línea] Disponible en: http://server.arcgisonline.com/arcgis/services/World_Topo_Map/MapServer. Última consulta: 14/04/15

Evans, D.; Florschuetz L. (1981). Simplified method for predicting PV array output. Solar Energy 27, 555-560.

Google Earth (2014) Vistas 3D de imágenes satelitales. Imágenes satelitales del sensor Landsat de la NASA. Google Inc. [En línea]. Disponible en: kh.google.com. Última consulta: 12/04/15

INEGI (2010b) Aguascalientes, México. [En línea] Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/>. Última consulta: 12/04/15

INEGI (2010a) Censo de Población y Vivienda.

INEGI (2011a) .Panorama Sociodemográfico de México.



INEGI (2011b) Sistema de Cuentas Nacionales de México Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 2005-2009.

INEGI (2013a) PIB y Cuentas Nacionales. Participación estatal en el Producto Interno Bruto, 2013

INEGI (2013b) Mapa Digital 6. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

(INEGI, S/F) Cuéntame. Monografías estatales. Climas del Estado de México. Basado en la carta climática de INEGI 1:1000,000. [En línea] Disponible en: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/territorio/clima.aspx?tema=me&e=15>. Última consulta: 12/04/15

INIFAP (2014). Red de estaciones agroclimáticas del INIFAP. . [En línea] Disponible en: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/>. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. SAGARPA. Última consulta: 12/04/15

IIE (2013). Proyectos fotovoltaicos. <http://vmwl1.iie.org.mx/sitioIIE/sitio/indice.php>

IUASOL (2015). Central Fotovoltaica 1MW Pastejé.

Ley ISR (2013) Ley del Impuesto sobre la Renta, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de diciembre de 2013.

Masera, O.; Astier, M. (2006). Metodología para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Aplicada. México.

Mertens, K. (2013). Photovoltaics - Fundamentals, Technology and Practice. Hoboken, Wiley.

NASA (2012). Earth Observatory. Earth at night project, NOAA NGDC.

Norma Mexicana NMX-ES-002-NORMEX-2006. Energía Solar – Definiciones y Terminología

Planck, M. (1914). Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung, Max Planck, Leipzig.

DENUE, (2010). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas.

Ren21 (2014). Renewables Global Status Report 2014. [En línea] Disponible en: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

Ron Curtis & Mr Solar.com (2015) . Diagrama de un panel Solar.



SMA – GEM (2015). Fases de la instalación del Sistema fotovoltaico en el Conjunto SEDAGRO, Gobierno del Estado de México.

SMA, (2015) . Solar Technology AG. [En línea] Disponible en: <http://www.sma.de/>

Skoplaki E.; Palyvos J. A. (2009). On the temperature dependence of PV module electrical performance: A review of efficiency/power correlations, Solar Energy 83, 614-624.

SMN (2014). Estaciones automáticas del estado de México (EMAS). Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. [En línea] Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/emas/> Última consulta: 12/04/15

PROMÉXICO (2013). Energías Renovables. Secretaría de Economía. [En línea] Disponible en: http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/2/130726_DS_Energias_Renovables_ES.pdf Última consulta: 14/04/15

SENER (2015). Inventario Nacional de Energías Renovables. [En línea] Disponible en: <http://inere.energia.gob.mx/> Última consulta: 14/04/15

Solar GIS (2011). Maps of Global horizontal irradiation (GHI), Germany, 2011. En línea] Disponible en: http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Germany-en.png

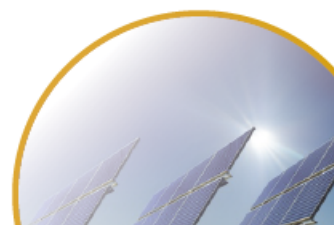
Solar GIS, 2014 Maps of Global horizontal irradiation (GHI), México, 2014. En línea] Disponible en: http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Germany-en.png

Suaste, G. (2007). Acción del Espectro electromagnético visible como elemento de diagnóstico médico. En Revista *CINVESTAV*, 26, pp. 44-53.

Weber B. et. al. (2014). Performance Reduction of PV Systems by Dust Deposition, *Energy Procedia*; 57, 99 – 108.

UAEM (2015). Facultad de Ingeniería. Datos de celdas fotovoltaicas instaladas.

Yuksel, I., (2008). Global warming and renewable energy sources for sustainable development in Turkey. *Renew. Energy* 33 (4), 802–812.



Colaboradores

Universidad Autónoma del Estado de México

- Facultad de Ciencias
- Facultad de Geografía
- Facultad de Ingeniería

Gobierno del Estado de México

- Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático

