

## La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable

SALAZAR-PERALTA, Araceli\*†, PICHARDO-S. J. Alfredo, PICHARDO-S, Ulises.

Recibido Julio 4, 2016; Aceptado Septiembre 1, 2016

### Resumen

El uso indiscriminado de combustibles fósiles, así como los procesos industriales usados para producir energía eléctrica, ha colaborado al calentamiento global, por la emisión de CO<sub>2</sub>. Actualmente, la utilización de la energía solar, ha suscitado la atención de especialistas en diferentes disciplinas científicas, para buscar otras fuentes de energía. Este estudio consiste en la investigación del estatus que guarda el uso de la energía solar para la generación de energía renovable, así como los elementos básicos utilizados en la construcción de un panel solar. Los resultados obtenidos para la generación de energía eléctrica por medio del uso de paneles solares en el año 2012 fue la siguiente: Corea del Sur 655 MW (MegaWatt), Bélgica 803 MW, China 900 MW, Francia 1025 MW, República Checa 2000 MW, Estados Unidos 2528 MW, Italia 3484 MW, Japón 3600 MW, España 3800MW. Alemania 17200 MW. Sin embargo en 2015, China superó a Alemania con 43000 MW. Se concluye que el uso de energía solar en el suministro de energía eléctrica es una alternativa para reducir en un 60% el consumo de energía eléctrica obtenida de materiales fósiles.

**Energías Renovables, Energía Solar, Convertidor, Panel Fotovoltaico, Silicio Policristalino**

### Abstract

The indiscriminate use of fossil fuels and industrial processes used to produce electricity, has contributed to global warming by CO<sub>2</sub> emissions. Currently, the use of solar energy, has attracted the attention of specialists in different scientific disciplines, to seek other sources of energy. This study involves research status keeping the use of solar energy for the generation of renewable energy as well as the basic elements used in the construction of a solar panel. The results obtained for the generation of electrical energy through the use of solar panels in 2012 was as follows: South Korea 655 MW (MegaWatt), Belgium 803 MW, China 900 MW, France 1025 MW, Czech Republic 2000 MW, US 2528 MW, 3484 MW Italy, Japan 3600 MW, Spain 3800mW. Germany 17200 MW. However in 2015, China overtook Germany with 43,000 MW. It is concluded that the use of solar energy in the electricity supply is an alternative to reduce by 60% the consumption of electricity from fossil materialsTitle.

**Renewable Energy, Solar Energy Converter, Photovoltaic Panel, Polycrystalline Silicon**

**Citación:** SALAZAR-PERALTA, Araceli, PICHARDO-S. J. Alfredo, PICHARDO-S, Ulises. La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-5: 11-20

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: lina.carpinteyro@uttijuana.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El presente estudio tiene como objetivo investigar documentalmente la situación actual del uso de energía solar como una alternativa de energía renovable, así como dar a conocer los elementos básicos que conforman una celda solar, un panel solar y el uso de la energía renovable en el campo industrial. En esta investigación, se abordan en primer lugar los antecedentes y el desarrollo de la energía solar para la generación de electricidad, material y procesamiento de las celdas solares, así como de los módulos fotovoltaicos, mediante el uso de materiales semiconductores para inducción del campo eléctrico, y el uso y funcionamiento de un convertidor, elemento indispensable en el sistema de generación de energía.

En la metodología se trata el procedimiento de inducción del campo eléctrico, la figura 5 representa el efecto de absorción en una celda fotovoltaica, se trata también el proceso de fabricación de celdas solares de silicio. En la figura 7 se observa el circuito de acondicionamiento. En esta sección se dan a conocer las aplicaciones industriales de la energía solar. En la sección de resultados se analiza el funcionamiento de un módulo fotovoltaico, las aplicaciones de la energía solar, y la evolución del mercado fotovoltaico en Estados Unidos y el Mundo.

Las conclusiones de este estudio dan la pauta para realizar otras investigaciones en el campo de la energía solar utilizando otros materiales diferentes al silicio para la fabricación de celdas solares.

## Antecedentes

En abril de 1954 hubo una reunión en Washington en la que un grupo de selectos científicos se reunieron para escuchar algo nuevo: la voz y la música emitida por un transmisor de radio funcionando con energía solar (Figura 1).



**Figura 1** Los inventores de la célula solar: Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin, and Calvin S. Fuller in 1954. Foto de Alcatel-Lucent Bell Labs.]

Los científicos de los Laboratorios Bell en Nueva Jersey demostraron de este modo su invención, la primera célula solar fotovoltaica de silicio cristalino aplicada a un caso práctico. Este avance allanó el camino para la revolución solar que se celebra hoy en los techos ya sea con paneles fotovoltaicos anclados sobre el suelo o instalados sobre las cubiertas de todo tipo de edificios [1].

Las células solares dieron nombre a lo que se conoce como energía solar fotovoltaica (Photovoltaic Energy) y tuvo un creciente desarrollo durante la carrera espacial librada en la década de los sesenta entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Sin embargo la tecnología fotovoltaica todavía era demasiado cara para ser utilizada en el ámbito común. El nuevo reto lo marco el embargo petrolero árabe de 1973. Este hecho puso en evidencia la vulnerabilidad de los combustibles fósiles concentrados en unos pocos países. Así que en medio de los crecientes temores sobre la seguridad energética, los gobiernos y las empresas privadas vertieron miles de millones de dólares en investigación y desarrollo solar, pero también en eficiencia energética. Esto llevó al uso generalizado de la energía fotovoltaica en la década de 1980 para alimentar estaciones telefónicas, postes de socorro, balizas luminosas, etc [2].

Las empresas japonesas y estadounidenses se convirtieron en los primeros líderes en la fabricación de células fotovoltaicas para varios usos.

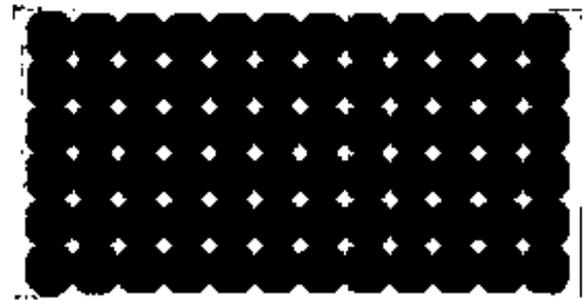
A mediados de la década de 1980, Alemania se unió a Estados Unidos y Japón en la carrera por el dominio de la producción fotovoltaica. En los primeros años del nuevo milenio, las empresas japonesas y estadounidenses representaron aproximadamente el 70 por ciento de la producción fotovoltaica del mundo. Por ejemplo, las empresas japonesas como Sharp y Kyocera fueron pioneros en el uso de células solares en calculadoras de bolsillo. Actualmente una calculadora de energía solar del tamaño de una tarjeta de crédito fabricada en el año de 1983, todavía funciona adecuadamente para hacer cálculos rápidos [3]. La conversión fotovoltaica de la radiación solar, es el proceso de convertir la energía solar directamente en electricidad usando celdas solares, la explotación del efecto fotovoltaico dependió de algunos de los más importantes científicos y de los desarrollos tecnológicos del siglo 20. Entre estos desarrollos se encuentran el desarrollo de la mecánica cuántica, y el descubrimiento intelectual de la tecnología, la cual ha sido responsable de la revolución electrónica y la revolución fotónica [4]. El primer dispositivo fotovoltaico fue demostrado en 1839 por Edmond Becquerel.

### Celdas Fotovoltaicas

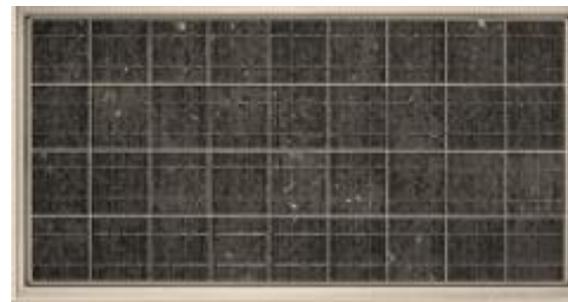
Las Celdas Fotovoltaicas, son sistemas fotovoltaicos que convierten directamente parte de la luz solar en electricidad. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico en su forma más simple, estos materiales se componen de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible. La luz que incide sobre el cátodo libera electrones que son atraídos hacia el ánodo, de carga positiva, originando un flujo de corriente proporcional a la intensidad de la radiación, que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones [5].

Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente de silicio monocristalino (Figura 2) y policristalino (Figura 3), el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre.



**Figura 2** Células de Silicio Monocristalino



**Figura 3** Células de Silicio Policristalino

Actualmente, existen celdas fotovoltaicas, por ejemplo, en las calculadoras solares así como en los cohetes espaciales. La conversión directa de luz en electricidad a nivel atómico se llama generación fotovoltaica.

Algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico, que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. Cuando se captura a estos electrones libres emitidos, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como energía para alimentar circuitos.

Las celdas fotovoltaicas, llamadas también celdas solares, están compuestas de la misma clase de materiales semiconductores que se usan en la industria microelectrónica, como por ejemplo el silicio. Una delgada lámina semiconductor, especialmente tratada, forma un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro. Cuando incide energía luminosa sobre ella, los electrones son excitados y extraídos de los átomos del material semiconductor, cuando se disponen conductores eléctricos en forma de una rejilla que cubre ambas caras del semiconductor, los electrones circulan para formar una corriente eléctrica que aporta energía.

Cuando la luz solar incide en una celda solar esta puede ser: reflejada, absorbida o transmitirse a través de ella. No obstante, solamente la luz absorbida es la que va a generar electricidad. La energía de la luz es transferida a los electrones en los átomos de la celda fotovoltaica, con su nueva energía, los electrones saltan de sus posiciones normales en los átomos del material semiconductor fotovoltaico y se convierten en parte del flujo eléctrico.

### Material semiconductor

Un material semiconductor, es un material que posee un nivel de conductividad que se localiza entre los extremos de un dieléctrico y de un conductor. Los materiales intrínsecos, son aquellos semiconductores que se han refinado cuidadosamente con el objetivo de reducir las impurezas hasta un nivel muy bajo, tan puros como sea posible mediante la utilización de la tecnología moderna.

Materiales extrínsecos tipo “p” y tipo “n”. Un material extrínseco es un material semiconductor que se ha sometido a un proceso de dopaje. Existen dos materiales extrínsecos de gran importancia para la fabricación de dispositivos semiconductores: el tipo “n” y el tipo “p” (Figura 4).

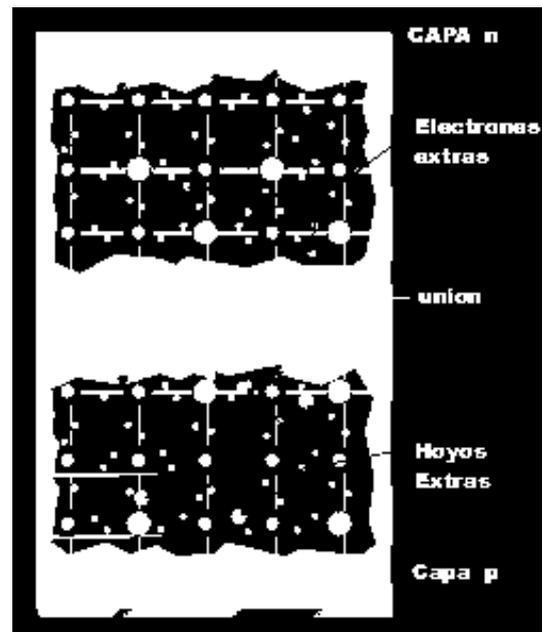


Figura 4 Unión N - P en una celda solar o fotovoltaica

Tanto los materiales tipo “n” como los tipo “p” se forman cuando se añade un número predeterminado de átomos de impureza a una base de germanio o de silicio. El material tipo “n” se crea al introducir elementos impuros que cuentan con cinco electrones de valencia (pentavalentes), como es el caso del antimonio, el arsénico y el fósforo.

El material tipo “p” se forma mediante el dopado de un cristal puro de germanio o de silicio con átomos de impureza que cuenten con tres electrones de valencia. Los elementos que se utilizan de forma más frecuente para este propósito son: el boro (B), el Galio (Ga) y el Indio (In) [6].

### Metodología

El procedimiento para el estudio fue el siguiente:

Se consultó la manera de inducir el campo eléctrico, el cual se obtiene de la forma siguiente:

1.1 Para inducir el campo eléctrico construido dentro de una célula fotovoltaica, se ponen dos capas de materiales semiconductores ligeramente distintas, en contacto entre sí.

La primera es una capa semiconductora del tipo “n” con abundancia de electrones con carga negativa. La otra capa semiconductora es del tipo “p” con abundancia de "hoyos" que tienen una carga positiva. Aunque ambos materiales son eléctricamente neutros, el silicio del tipo “n” tiene electrones de sobra y la silicóna del tipo p tiene a su vez agujeros de sobra.

1.2 Los materiales se colocan como sándwich se crea un punto de salida “p/n” en su fase intermedia creándose un campo de fuerza eléctrico. Cuando “n - y silicio del tipo “p” entran en contacto, los electrones del exceso se mueven del lado del tipo “n”- al lado del tipo “p”. El resultado es un aumento de carga positivo a lo largo del lado del tipo”n” de la interface y un aumento de cargo negativo a lo largo del lado del tipo “p” (Figura 4).

1.3 Debido al flujo de electrones y hoyos Figura 2, los dos semiconductores se comportan como una batería, creando un campo eléctrico en la superficie dónde ellos se unen p/n. El campo eléctrico obliga a los electrones a trasladarse desde el semiconductor hacia la superficie negativa de donde quedan disponibles para ser ocupados por algún circuito eléctrico o acumulación. Al mismo tiempo los huecos se mueven en dirección contraria hacia la superficie positiva donde esperan a los electrones que vienen en dirección contraria.

1.4 Las células de Silicio amorfo (multicapas), así como las de Arseniuro de Galio (Figura 5), poseen mayor capacidad de absorción de luz, y son más finas. El efecto de absorción se muestra en la Figura 6.

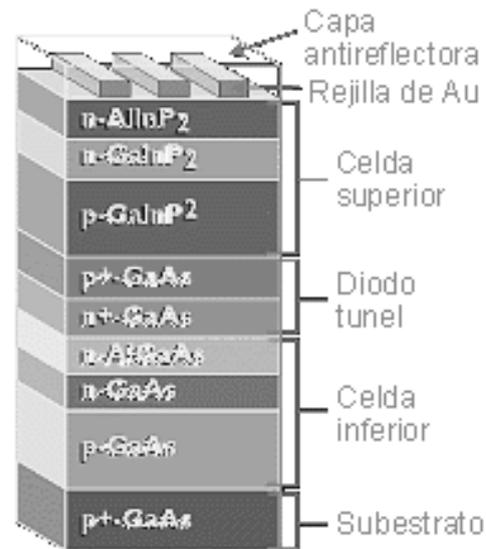


Figura 5 Celda Multicapas

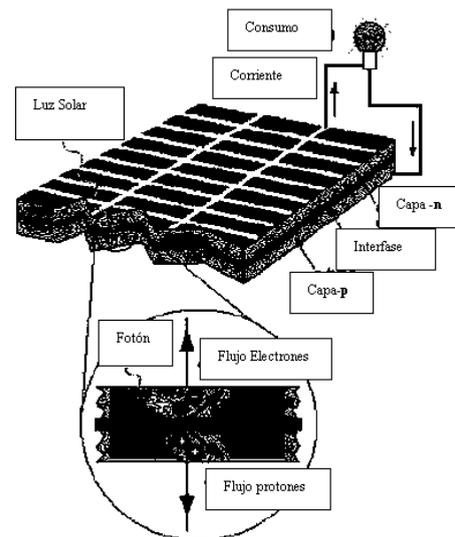


Figura 6 Efecto de absorción. Esquema de una celda fotovoltaica

Otros Tipos de celdas.

Células de Sulfuro de Cadmio y Sulfuro de Cobre

Células bifaciales

Células de doble unión P-N.

Silicio en cinta.

Diseleniuro de Indio y Cobre.

Telurio de Cadmio.

Se consultó el proceso de fabricación de celdas solares de silicio.

El proceso de fabricación de las células solares de silicio se divide tres etapas:

2.1 Obtención del Si de alta pureza. Este se obtiene a partir del óxido de silicio, SiO<sub>2</sub>, básicamente cuarzo, cuya abundancia en la naturaleza elimina problemas de abastecimiento. El silicio tiene que ser de alta pureza, semejante al semiconductor que se utiliza en la industria electrónica. Actualmente se está trabajando con silicio de menor pureza, pero útil para la fabricación de células solares y a un menor costo.

2.2 Obtención de obleas. Utilizando como materia prima polvo de silicio de alta pureza se hace crecer el monocristal hasta obtener una pieza cilíndrica de diámetro variable entre 2 y 20 cm y longitud de alrededor de 1 metro. El crecimiento del monocristal sirve para purificar el material y para la creación de una estructura perfecta, gracias a la cual la oblea presentará propiedades semiconductoras.

La barra de silicio se corta mediante sierras especiales produciendo obleas de espesor aproximado de 300 µm. En esta etapa hay una pérdida de material de aproximadamente el 60% en forma de aserrín. Actualmente existen otras formas más eficientes de corte de la barra.

2.3 Procesamiento de la oblea. Para obtener finalmente la célula solar, la oblea sufre un procesamiento que consiste de los siguientes pasos:

- a) Lapeado y pulido,
- b) Formación de unión p-n,
- c) Decapado y limpieza,
- d) Capa antirreflejante

e) Fotolitografía para formación de contactos,

f) Formación de contactos o electrodos,

g) Material para soldadura de electrodos, de acuerdo a las necesidades.

h) Limpieza del decapante

i) Comprobación de las características de la celda.

### **Formación de la unión p-n.**

La formación de la unión p- n es la etapa más crítica de todo el proceso de fabricación, debido a que el buen funcionamiento de la célula solar depende en gran medida de una buena unión

p- n. Además, es necesaria también una capa antirreflejante adecuada, ya que una superficie de silicio bien pulida puede llegar a reflejar hasta el 34% de la radiación de onda larga y un 54%, si la radiación es de onda corta.

Actualmente resulta imprescindible hacer una gestión correcta de la energía, intentando obtener el máximo rendimiento posible desde la generación hasta la carga, utilizando todos los recursos que se tienen al alcance. La finalidad de esta energía que se obtiene del sol es utilizarla de la manera eficiente, es necesario convertir la energía que proporciona el sol, en forma de radiación electromagnética en electricidad.

### **Instalación fotovoltaica.**

Las instalaciones fotovoltaicas requieren para su funcionamiento el acoplamiento de cuatro subsistemas principales los cuales sirven de acondicionamiento.

3.1 Subsistema de captación: cuya finalidad es la captación de la energía solar.

3.2 Subsistema de almacenamiento: cuya finalidad es adaptar en el tiempo la disponibilidad de energía y la demanda, acumulándola cuando está disponible, para poderla ofrecer en cualquier momento en que se solicite, en baterías.

3.3 Subsistema de regulación: cuya finalidad es proporcionar la regulación de carga y descarga de la batería y el control necesario en las instalaciones fotovoltaicas.

3.4 Subsistema de distribución y consumo: cuya finalidad es trasladar a los puntos de consumo la electricidad

### Sistema de acondicionamiento

Este sistema de acondicionamiento es un convertidor que transforma la energía proveniente del sol en energía eléctrica en forma de corriente continua. El objetivo del convertidor es adecuar los niveles de tensión y corriente proporcionados por el panel, a los niveles de tensión y corriente demandados. No se debe olvidar que el convertidor es un intermediario necesario de la energía, que permitirá hacer un uso correcto de la misma. Pero por su calidad de intermediario debe tener el mayor rendimiento posible ya que el objetivo es utilizar toda la energía que proporciona el panel (Figura 7).

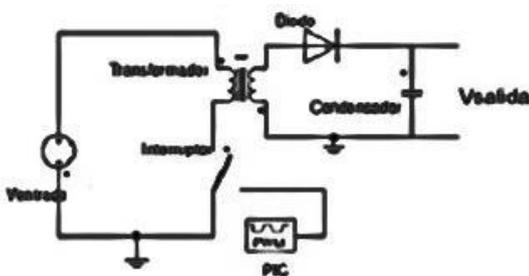


Figura 7 Circuito de acondicionamiento

Los convertidores de potencia se utilizan de manera genérica para adecuar el tipo de corriente necesaria, existen convertidores de corriente alterna a corriente continua, de corriente continua a corriente alterna. Este circuito permite la unión entre dos corrientes continuas con niveles de tensión y corriente diferente.

### Se consultaron las Aplicaciones Industriales de la Energía Solar

5.1 Electrificación rural y de viviendas aisladas. Existen muchas zonas rurales y viviendas aisladas donde llevar energía eléctrica por medio de la red general sería demasiado costoso y por lo tanto no cuentan con este servicio. En este caso, la instalación de un generador fotovoltaico es ampliamente rentable. A menudo se requiere iluminación en lugares remotos donde el costo de emplear energía de la red es demasiado alto. Tales aplicaciones incluyen la iluminación de seguridad, ayudas a la navegación (ejemplo. boyas y faros), señales iluminadas en los caminos, señales en cruces ferroviarios y la iluminación de aldeas. Las células solares pueden satisfacer tales usos, aunque siempre se requerirá de una batería de almacenaje. Estos sistemas generalmente consisten de un panel fotovoltaico más una batería de almacenaje, un acondicionador de energía y una lámpara fluorescente de C.C. de baja tensión y alta eficiencia. Estos sistemas son muy comunes en áreas remotas, especialmente en países en vías de desarrollo y es uno de los usos principales de células solares.

5.2 Comunicaciones. Los generadores fotovoltaicos son una excelente solución cuando hay necesidad de transmitir cualquier tipo de señal o información desde un lugar aislado, por ejemplo, reemisores de señales de TV, plataformas de telemetría, radioenlaces, estaciones meteorológicas.

Los sistemas fotovoltaicos han proporcionado una solución rentable a este problema con el desarrollo de estaciones repetidoras de telecomunicaciones en área remotas. Estas estaciones consisten de un receptor, un transmisor y un sistema basado en una fuente de alimentación fotovoltaica. Existen miles de estos sistemas instalados alrededor del mundo y tienen una excelente reputación por su confiabilidad y costos relativamente bajos de operación y mantenimiento.

5.3 Principios similares se aplican a radios y televisiones accionadas por energía solar, los teléfonos de emergencia y los sistemas de monitoreo. Los sistemas de monitoreo remotos se pueden utilizar para recolectar datos del tiempo u otra información sobre el medio ambiente y transmitirla automáticamente vía radio a una central.

## Resultados

Una célula o celda solar genera corriente y tensiones pequeñas, por lo tanto no se utilizan en las aplicaciones prácticas, en forma individual, para ello se fabrican en conjunto formando módulos fotovoltaicos, cuyo uso se ha incrementado en muchos países incluyendo México.

El módulo fotovoltaico, es el elemento que se comercializa. A la vez, estos módulos se conectan en serie o en paralelo para obtener las tensiones y corrientes que den la potencia deseada. Los módulos en serie aumentan el voltaje y conservan la misma corriente, mientras que los módulos en paralelo aumentan la corriente, conservando el mismo voltaje. Los módulos generalmente se fabrican para tener una salida de 12 VCD.

No se debe olvidar que el convertidor es un intermediario necesario de la energía, que permitirá hacer un uso correcto de la misma. Pero por su calidad de intermediario, debe tener el mayor rendimiento posible ya que el objetivo es utilizar toda la energía que proporciona el panel.

En Otras aplicaciones de la Energía solar, se tienen las siguientes:

a) Difusión: televisión, radios en zonas aisladas

b) En la navegación: faros, boyas, balizas, plataformas, embarcaciones.

c) Transporte terrestre: iluminación de patrullas, ambulancias, señalizaciones de pasos a desnivel, cambios de vías en los ferrocarriles.

d) Agricultura y ganadería: energía para granjas, bombeo de agua para alimentación de ganado y riego, vigilancia forestal para prevención de incendios.

e) Industria: obtención de metales, fabricación de metales en forma electroquímica.

f) Tratamiento de aguas: energía eléctrica para desinfectar o purificar agua para consumo humano, alimentación de luz ultravioleta para matar bacterias en el agua.

g) Sistemas de protección catódicos: protección contra la corrosión de puentes, tuberías, edificios, estanques

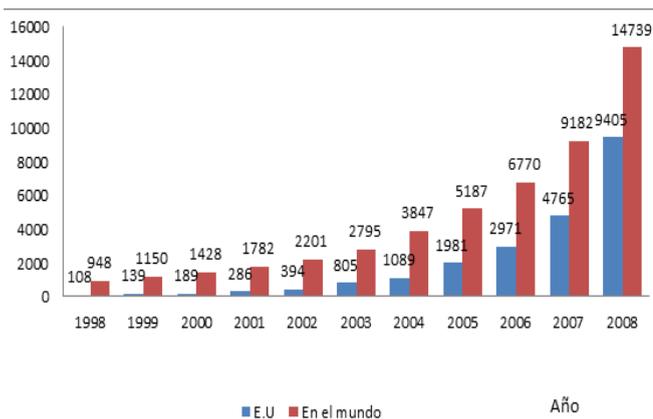
h) Tejas fotovoltaicas: Paneles para tejas (tejados solares).

i) Otros usos: Relojes, juguetes, calculadoras, refrigeradores para almacenaje de vacunas y sangre en áreas remotas, sistemas de aireación para estanques, fuentes de alimentación para satélites y vehículos espaciales entre otros.

La evolución del mercado fotovoltaico en Estados Unidos y el resto del mundo de 1998 a 2008, se muestra en la Gráfica 1.

Los resultados obtenidos en la consulta de la generación de energía eléctrica por medio del uso de paneles solares en el año 2012 fueron los siguientes: Corea del Sur 655 MW (MegaWatt), Bélgica 803 MW, China 900 MW, Francia 1025 MW, República Checa 2000 MW, Estados Unidos 2528 MW, Italia 3484 MW, Japón 3600 MW, España 3800MW. Alemania 17200 MW. Sin embargo en el 2015, China superó a Alemania con 43000 MW.

En la tabla 1. Se observa el estatus de producción de varios países a partir del año 2000 al 2013.



**Gráfico 1** Evolución del Mercado Fotovoltaico en Estados Unidos y el resto del mundo en MW.

Año	Alemania	China	Italia	Japón	Estados Unidos	España	Francia	Australia	Otros	Mundo
2000	76	19	19	330	0	0	0	29	776	1,250
2001	186	30	20	453	0	0	0	34	847	1,569
2002	296	45	22	637	28	0	0	39	945	2,012
2003	435	55	26	860	73	12	0	46	1,070	2,575
2004	1,105	64	31	1,132	131	24	26	52	1,133	3,698
2005	2,056	68	38	1,422	172	50	33	61	1,149	5,048
2006	2,899	80	50	1,709	275	154	44	70	1,338	6,619
2007	4,170	100	120	1,919	427	759	82	83	1,852	9,291
2008	6,120	140	458	2,144	738	3,635	186	105	2,537	16,063
2009	10,566	300	1,181	2,627	1,172	3,698	377	188	4,156	24,265
2010	17,554	800	3,502	3,618	2,022	4,110	1,194	571	7,959	41,330
2011	25,039	3,300	12,803	4,914	3,910	4,472	2,853	1,377	12,450	71,218
2012	32,843	7,000	16,139	6,743	7,271	4,685	4,019	2,407	21,169	102,076
2013	35,948	18,300	17,600	13,643	12,022	4,828	4,652	3,255	29,409	139,837

Source: Statistical Review of World Energy June 2014 (London: 2014). Note that previous datasets from other groups have reported higher numbers for the United States and other key countries for the earlier years of the time series.

**Tabla 1** Capacidad Solar Fotovoltaica instalada en países líderes y el Mundo, 2000-2013

China en los últimos años ha incrementado la producción fotovoltaica. Ver tabla 2.

2005	68
2006	80
2007	100
2008	140
2009	300
2010	800

**Tabla 2** Producción fotovoltaica en China MW

### Conclusiones

El uso de energía solar es una alternativa para la generación de energía renovable.

El objetivo global de la Tecnología fotovoltaica es producir sistemas fotovoltaicos de bajo costo, por lo que

### Referencias

Almada, M., Cáceres, M., Machain-Singer, M., & Pulfer, J., (2005) Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes, Asunción, Paraguay: Comunicación Visual.

Álvarez, M. (2007) Estanques y jardines acuáticos. Buenos íres, Argentina.

Martínez, P. (1991). Historia de Baja California. México: Patronato del estudiante sudcaliforniano, A.C.

Autoras:

CARPINTEYRO Lina, TEÓN Argelia,  
BALDERAS Silvia  
lina.carpinteyro@uttijuana.edu.mx