

ENERGÍA del SOL



Camilo Arancibia Bulnes y Roberto Best y Brown


Lejos de ser una alternativa ingenua y poco costeable, la energía solar es una de las pocas opciones realistas cuya utilización no implica la destrucción del entorno. A la fecha se desarrollan investigaciones encaminadas a su aprovechamiento, como por ejemplo la producción de agua potable a partir de la destilación del agua de mar.

A la entrañable memoria del doctor Agustín Muhlia Velázquez (1942-2009), del Instituto de Geofísica de la UNAM, quien a lo largo de su carrera promovió incansablemente la medición del recurso solar de México y compartió con entusiasmo su conocimiento con quien deseara aprender.

Introducción

El Sol es la fuente de energía que mantiene vivo al planeta Tierra. Emite continuamente una potencia de 62 mil 600 kilowatts (o kilovatios) por cada metro cuadrado de su superficie. Esto ha venido ocurriendo a lo largo de 4 mil 500 millones de años, y se estima que continuará así por otros 5 mil millones de años, lo cual, en términos de la existencia que ha tenido la humanidad, es prácticamente ilimitado. De hecho, en un periodo de tan sólo dos días, el planeta recibe una cantidad de energía equivalente a todas las reservas probadas que existen de petróleo, gas y carbón. Esto equivale a cerca de 60 veces el consumo anual de la sociedad humana, lo cual nos da una idea del potencial impresionante que tiene la energía del Sol para satisfacer las demandas energéticas del mundo.

Los primeros registros escritos de la utilización de la energía solar provienen de los antiguos griegos, romanos y chinos. Estos pueblos conocían el arte de prender fuego utilizando lentes y espejos “quemantes”. En el Renacimiento, la idea de usar el calor solar para la industria química y la cerámica despertó mucho interés. Según



Los primeros registros escritos de la utilización de la energía solar provienen de los antiguos griegos, romanos y chinos, quienes conocían el arte de prender fuego utilizando lentes y espejos "quemantes"

parece, uno de los primeros en intentarlo fue Leonardo da Vinci. En los siglos XVII y XVIII se construyeron un gran número de hornos solares que usaban la radiación solar concentrada para experimentación en cerámica, metalurgia y química. Muestra de esto: en 1774 el químico inglés Joseph Priestley utilizó un horno solar en experimentos que lo llevaron a descubrir el oxígeno. Hoy los hornos solares se siguen utilizando como instrumentos de investigación, muy importantes en el campo de la energía solar; por ejemplo, para la producción sustentable de combustibles como el hidrógeno.

En términos generales, las tecnologías de aprovechamiento de la energía solar pueden clasificarse en *solares térmicas* y *solares fotovoltaicas*. De las primeras hablaremos en la siguiente sección, mientras que las segundas se discutirán más adelante.

Energía solar térmica

La “caja caliente” es un invento del siglo XVIII cuya herencia en la tecnología solar ha perdurado hasta nuestros días. Desde antaño se conocía la capacidad del vidrio para retener el calor en habitaciones e invernaderos. En 1767, un científico francés llamado Horace de Saussure decidió construir un dispositivo experimental pequeño para estudiar este fenómeno. Su modelo consistía en una caja con fondo negro, aislada con lana por sus costados y cubierta por arriba con una tapa de vidrio. De manera sorprendente, al poner este dispositivo al sol pudo medir temperaturas interiores de hasta 120 grados centígrados. Se alcanza tan alta temperatura debido a que el vidrio es transparente a la luz solar; ésta lo atraviesa y calienta el interior de la caja, pero a la vez evita el escape del calor, provocando algo similar al “efecto invernadero”. El vidrio actúa de dos maneras: en primer lugar, no permite que el aire caliente del interior de la caja ascienda a la atmósfera y se lleve energía; en segundo, reduce el escape de energía en forma

de radiación infrarroja emitida por la superficie caliente, ya que el vidrio no es transparente a este tipo de radiación. Un efecto como el de la caja caliente se puede experimentar al subir a un automóvil que ha estado completamente cerrado bajo un sol intenso.

Una aplicación directa de la caja caliente son las cocinas solares: basta poner en su interior recipientes oscuros conteniendo los alimentos que se desea cocer. El concepto de la caja caliente es también la base del funcionamiento del dispositivo solar más usado en el mundo actual: el calentador solar plano para agua (Figura 1).

Al igual que la caja caliente de Saussure, el calentador solar consiste de una caja aislada con cubierta de vidrio. La superficie que absorbe la luz solar es una placa metálica de color negro, generalmente de cobre. Esta placa se encuentra soldada a una serie de tubos, en cuyo interior circula el agua que se pretende calentar.

Los calentadores solares planos son una opción rentable y muy probada para el calentamiento de agua de uso residencial. También han encontrado amplia aplicación en hoteles, clínicas y para calentar albercas. El país que más destaca a nivel internacional en la aplicación de esta tecnología es Chipre, donde en promedio hay cerca de 600 metros cuadrados de calentadores por cada mil habitantes; es decir, más de medio metro cuadrado por habitante. Esto implica un grado casi total de penetración en el mercado. Por otro lado, en cantidad de colectores instalados, China es el líder indiscutible, con 164 millones de metros cuadrados. En México la cantidad instalada es pequeña, con alrededor de tan sólo 8 metros cuadrados por cada mil habitantes. Sin embargo, el clima de la mayor parte del territorio nacional es

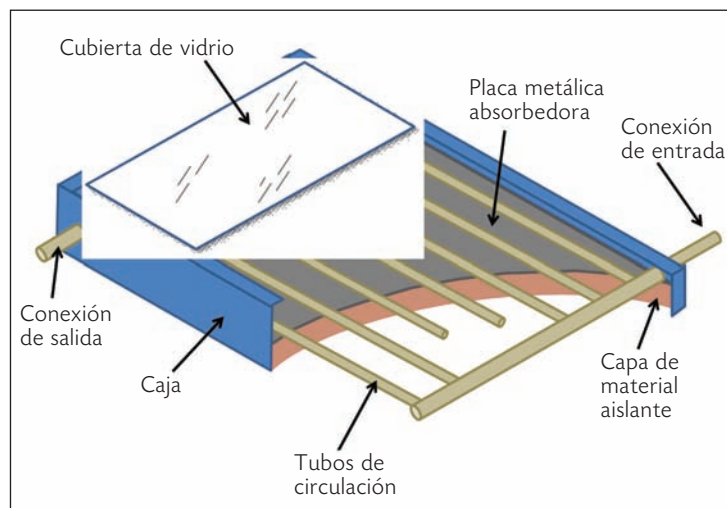


Figura 1. Componentes principales de un calentador solar de agua.

muy favorable para estas aplicaciones, las cuales pueden llegar a ahorrar entre 50 y 60 por ciento del consumo total de gas. Actualmente se busca fomentar en México la utilización de calentadores solares, a través por ejemplo del programa de Hipotecas Verdes del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit) y la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

Otra aplicación de la energía solar de baja temperatura es el secado de productos agrícolas. Tradicionalmente este secado se hace a cielo abierto. Sin embargo, en un secador solar el producto se encuentra detrás de una cubierta transparente, dentro de un colector solar especialmente diseñado. También puede encontrarse en una cámara oscura, donde se hace circular aire calentado previamente con energía solar para remover la humedad. Así el secado puede hacerse con mayor rapidez y a la vez protegiendo el producto de insectos y lluvia.

La producción de agua potable a partir del agua de mar utilizando energía solar puede llegar a ser de mucha importancia en los años por venir. A nivel mundial el agua potable es cada vez más escasa; una manera de obtenerla es usando el calor solar para destilar el agua salada. Actualmente existen diferentes tecnologías solares bajo investigación que buscan mejorar los procesos y proveer agua potable con costos razonables.

Una aplicación nada obvia de los colectores solares térmicos es la refrigeración y el aire acondicionado solares. Aunque resulte sorprendente, se puede producir enfriamiento usando el calor del Sol. De hecho, mientras más calor solar se tenga y mayor sea la temperatura que se alcance en el colector solar, más frío se puede producir con el refrigerador (Figura 2).



Figura 2. Refrigerador solar por absorción para la producción de hielo (Centro de Investigación en Energía, UNAM). Izquierda: concentrador solar parabólico compuesto; derecha: caja frigorífica.

Para enfriar, hay que extraer calor del interior de la cámara frigorífica (un lugar frío), para depositarlo en el aire que lo rodea (un lugar más caliente). Las leyes básicas de la termodinámica establecen que para lograr este comportamiento “anómalo” se requiere invertir energía. En los refrigeradores convencionales esto se hace suministrando energía eléctrica a un compresor, mientras que en la refrigeración por absorción se usa calor, a través de procesos que sería largo exponer aquí.

Hay muchas y diferentes aplicaciones solares térmicas, que se caracterizan por diferentes requerimientos de temperatura: calentamiento de agua para albercas (27-30 grados centígrados), calentamiento de agua para uso sanitario y climatización de espacios (30-45 grados centígrados), calentamiento de aire para secado y climatización de espacios (35-50 grados centígrados), cocción de alimentos (90-120 grados centígrados), calor para procesos industriales (40-225 grados centígrados), refrigeración y aire acondicionado solar (85-200 grados centígrados), generación termosolar de potencia eléctrica (250-1000 grados centígrados) y producción de combustibles solares (500-2000 grados centígrados).

Dependiendo de la temperatura que se quiera alcanzar, el tipo de colector requerido será diferente. Los calentadores solares planos normalmente no llegan más allá de 60 grados centígrados, pero existen otros tipos de colectores, como los tubos evacuados o los colectores parabólicos compuestos, que permiten extender este intervalo de operación incluso hasta los 140 grados centígrados, en algunos casos. Para temperaturas mayores es necesario recurrir a los concentradores solares.

Probablemente, el ejemplo más destacado de la utilización de tecnologías de concentración solar sea la producción de electricidad en las plantas termosolares de potencia eléctrica. En muchas plantas termoeléctricas la electricidad se produce haciendo pasar vapor a presión a través de turbinas, las cuales generan la elec-



tricidad. El calor requerido para producir este vapor puede ser suministrado mediante la quema de combustibles como petróleo, gas o carbón, o bien mediante reactores nucleares o por supuesto mediante radiación solar concentrada. Existen diferentes tipos de plantas de concentración solar para la producción de electricidad, que se clasifican en tres tecnologías principales: canal parabólico, torre central y disco parabólico.

En la tecnología de *canal parabólico*, como su nombre lo indica, la radiación solar es enfocada por espejos alargados en forma de una canaleta con perfil parabólico. El receptor donde se enfoca la energía es un tubo que corre a lo largo del foco del concentrador. En este receptor la energía solar es absorbida y transformada en calor, el cual se transfiere a un fluido que circula en el interior del tubo. Este fluido puede ser un aceite térmico, sales fundidas o alguna otra sustancia con buena capacidad para retener calor, buena estabilidad a alta temperatura y con la suficiente fluidez para poder ser bombeada a lo largo de grandes longitudes de tubo.

Las plantas de canal parabólico han acumulado más de 30 años de experiencia de operación comercial. Aunque hasta hace pocos años la abundancia de petróleo barato había mantenido bajo el nivel de interés por esta tecnología, hoy en día están comenzando a instalarse mayor número de plantas en varios países del mundo. Por ejemplo, la planta Andasol (2007), en Andalucía, España, y la Nevada Solar One (2008), en Nevada, Estados Unidos.

En México se ha llevado a cabo investigación sobre la tecnología de canal parabólico desde principios de los años ochenta, con la planta solar del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en Ciudad Universitaria, en el Distrito Federal.

La segunda tecnología es la de *torre central*. Una planta de este tipo consiste de un gran campo de helióstatos que concentran la radiación solar en lo alto de una torre (Figura 3). Los helióstatos son espejos planos que se mueven continuamente para dirigir el reflejo solar hacia la torre, y cuyos tamaños máximos llegan a ser de alrededor de 120 metros cuadrados. En 2006 y 2009 entraron en operación en Andalucía, España, las primeras plantas comerciales de torre central: se trata de la PS-10 y la PS-20, con 11 y 20 megawatts de potencia, respectivamente, ubicadas en Sanlúcar la Mayor, Sevilla (Figura 3). La experiencia ha sido buena, y actualmente se encuentran en marcha otros proyectos de plantas.

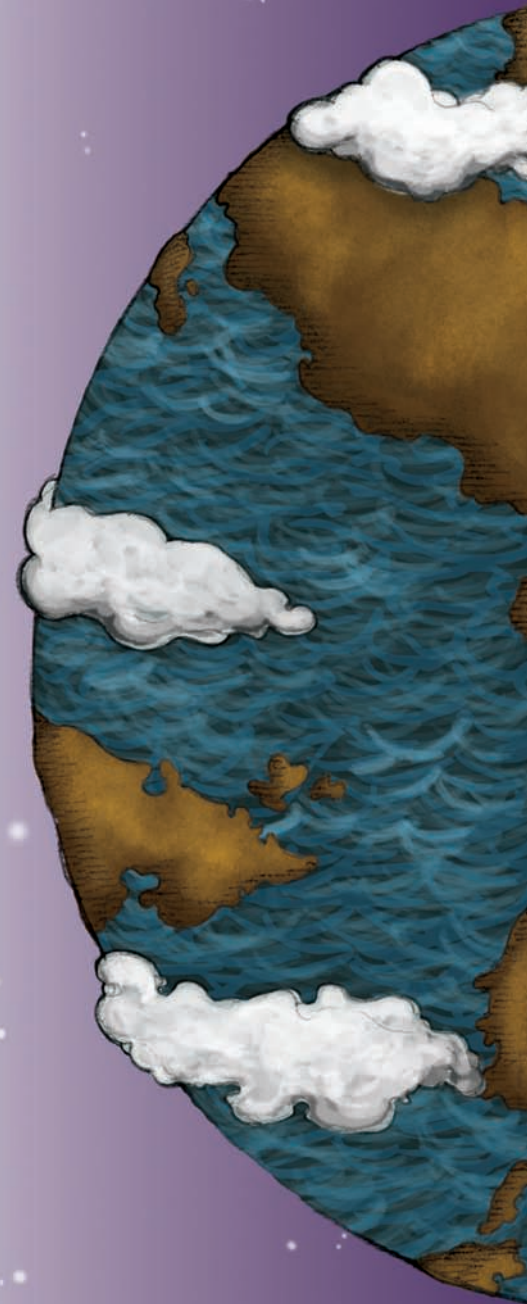
Idealmente, las plantas solares de potencia deben ser instaladas en sitios donde el Sol brille prácticamente todos los días del



Figura 3. Planta solar de torre central PS-10 en operación (frente) y planta PS-20 en construcción (al fondo). Fotografía: Abengoa Solar.

año; es decir, en zonas desérticas o semidesérticas. Aun así, puede haber días nublados. Por otro lado, en la actualidad una de las aplicaciones más interesantes para estas plantas es satisfacer el pico de demanda eléctrica que ocurre en las primeras horas de la noche. En ambas situaciones, para que una planta pueda operar en ausencia de luz solar, es necesario almacenar parte del calor generado con el sol para usarlo como respaldo en esos momentos. La manera más común de hacerlo es almacenando el mismo fluido que se ha calentado (aceite, sales fundidas) en un gran tanque bien aislado. De esta manera, se puede operar varias horas en ausencia de luz solar. También es posible operar una planta solar de potencia de manera híbrida, respaldándola con quemadores de gas. En el futuro esto podría hacerse utilizando como combustible hidrógeno producido a partir de energía solar, en lugar de gas natural.

La tercera tecnología de generación eléctrica, que se diferencia de las anteriores por su menor escala, es la de *disco* o *plato parabólico*. La generación de electricidad con este tipo de concentradores se basa en el uso del motor Stirling, inventado por el reverendo escocés Joseph Stirling en 1816. En este motor se calienta un gas que se expande, y al hacerlo empuja un pistón conectado a un alternador eléctrico; luego, al enfriarse, se contrae. En esta tecnología ya no es necesario transportar un fluido caliente por tuberías, pues la electricidad sale directamente del motor a través de cables eléctricos.



Energía solar fotovoltaica

A diferencia de las aplicaciones anteriores, en las *celdas solares* la radiación solar no se transforma en calor, sino que se convierte directamente en electricidad, mediante el llamado *efecto fotovoltaico*.

El efecto fotovoltaico consiste en que la luz puede generar una corriente eléctrica al iluminar ciertos materiales. Fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. A pesar de este temprano descubrimiento, fue hasta la década de los años cincuenta del siglo XX que se encontró un material que presentaba el efecto fotovoltaico de manera eficiente: el silicio.

Al principio, las celdas solares de silicio eran muy caras como para usarlas de manera comercial. Sin embargo se les encontró una aplicación ideal en la que su precio no era un obstáculo: suministrar energía a los satélites. De esta manera, la carrera espacial entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, en los años sesenta, dio un importante impulso al mejoramiento de las celdas solares, cuyas eficiencias llegaron más allá del 15 por ciento en aquella época; a la fecha han alcanzado hasta el 39 por ciento. Esto ha venido acompañado de importantes reducciones en sus costos.

El efecto fotovoltaico se basa en el uso de *materiales semiconductores*. Éstos se caracterizan porque conducen la electricidad mejor que un aislante y menos efectivamente que un metal, pero sobre todo porque mejoran su capacidad para conducir la electricidad al ser iluminados. Cuando incide luz sobre un semiconductor, la energía suministrada ayuda a darle mayor movilidad a algunos de los electrones presentes en el material, por lo que su capacidad para conducir la electricidad aumenta.

Sin embargo, para producir el efecto fotovoltaico no basta con liberar electrones. Es necesario que aparezca un voltaje que mueva a estos electrones en una dirección preferencial, generando una corriente eléctrica. La forma más común de lograr esto es unir dos materiales

semiconductores de características electrónicas diferentes: uno de ellos debe ser capaz de ceder parte de sus electrones con facilidad (se le llama material tipo N), mientras que el otro debe aceptar fácilmente electrones adicionales (material tipo P). El efecto fotovoltaico se produce precisamente al iluminar la superficie de unión entre los dos diferentes materiales (Figura 4).

Dado que la potencia que genera una celda solar es pequeña, lo que se hace es conectar varias entre sí para aumentar el voltaje o la corriente. Generalmente se fabrican para producir voltajes de 12 o 24 volts de corriente directa. A un conjunto de varias celdas conectadas entre sí se le llama *panel* o *módulo fotovoltaico* (Figura 5).

Usando módulos solares respaldados con baterías es posible dar energía a una gran variedad de aplicaciones aisladas, como

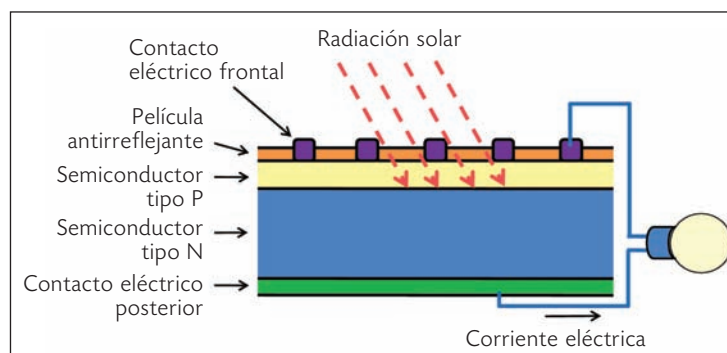


Figura 4. Estructura básica de una celda fotovoltaica.



Figura 5. Acercamiento frontal de un panel fotovoltaico de silicio policristalino. Se puede observar las diferentes celdas del panel (veteadas en tonos de azul) y los contactos eléctricos frontales (líneas plateadas).

telefonía rural, antenas de telecomunicaciones, boyas marítimas, televisión educativa rural, estaciones meteorológicas remotas, bombeo de agua rural, señalizaciones en carreteras y otras. En los primeros años de la tecnología fotovoltaica estas aplicaciones fueron las que más crecieron. Sin embargo, hoy las aplicaciones que más están creciendo son las de suministro de electricidad a casas o edificios de oficinas ubicados en ciudades. De hecho, la industria fotovoltaica es una de las de más rápida expansión alrededor del mundo, con tasas de crecimiento entre el 40 y 50 por ciento anual en la última década; es decir, que su producción se está duplicando cada dos años.

La investigación en celdas fotovoltaicas es un área muy activa de la ciencia de materiales. Se investigan varios materiales distintos al silicio, y se busca reducir el costo de las celdas y mejorar su eficiencia. En México existe trabajo de investigación muy prometedor en diversas instituciones, como la UNAM, el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), entre otras, por lo que hay buenas expectativas de contar con una tecnología nacional a mediano plazo si se le da el apoyo necesario a estos desarrollos.

Conclusiones y perspectivas

En contraste con fuentes de energía como los combustibles fósiles, que dependen de recursos limitados y acarrear importantes impactos ambientales, la energía solar se recibe de manera natural en todo el globo terráqueo, y su utilización no implica la destrucción del entorno. Existen diferentes tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, algunas de ellas muy maduras y otras que siguen siendo temas de investigación y que podrían tener impactos muy importantes en el futuro. Lejos de ser una opción ingenua y poco costosa, la energía solar es una de las pocas opciones realistas. Lo ingenioso es pensar que podemos sostener una sociedad que está acabando con sus fuentes de energía y su entorno, sin preocuparnos por lo que ocurrirá después.

Agradecimiento

Los autores desean agradecer a David Arancibia y Martha Escobar sus valiosos comentarios, que ayudaron a mejorar este artículo.

Camilo Arancibia Bulnes es doctorado en física por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav)-Mérida (1998). Es investigador del Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Estudia los procesos ópticos y térmicos en sistemas de concentración solar.

caab@cie.unam.mx

Roberto Best y Brown es doctorado en ingeniería química por la Universidad de Salford, Reino Unido (1990). Está adscrito al Centro de Investigación en Energía de la UNAM y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Es expresidente de la Asociación Nacional de Energía Solar. Investiga sobre refrigeración solar y bombas de calor.

rbb@cie.unam.mx



Lecturas recomendadas

Almanza Salgado, Rafael y Felipe Muñoz Gutiérrez (2003), *Ingeniería de la energía solar*, 2a edición, México, Cromocolor.

Pilatowsky Figueroa, Isaac y Rodolfo Martínez (2009), *Sistemas de calentamiento solar de agua, una guía para el consumidor*, 2a edición, México, Trillas.

Tagüña, Julia y Manuel Martínez (2008), *Fuentes renovables de energía y desarrollo sustentable*, México, ADN editores.

Tonda, Juan (1993), *El oro solar y otras fuentes de energía*, México, Fondo de Cultura Económica, (colección "La ciencia para todos").