

# Las energías del Sol

Para cada hombre guarda  
un rayo nuevo de luz el Sol...

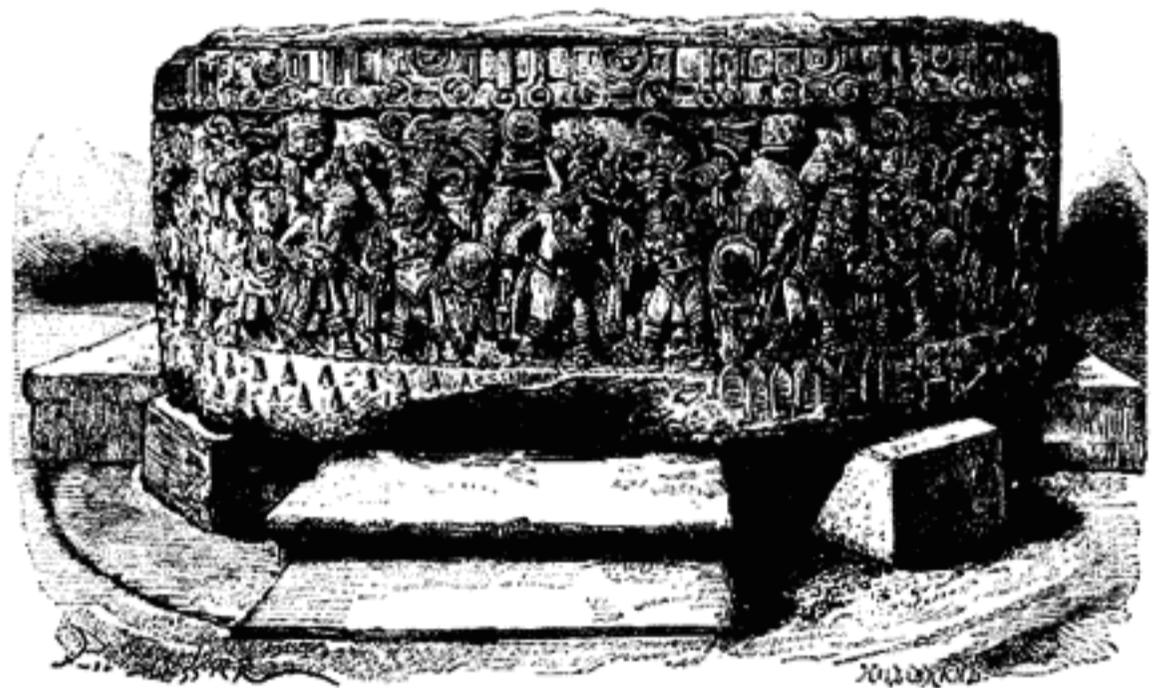
*León Felipe*

ANA MARIA CETTO\*

En el centro del Sol, nuestra vecina estrella, la temperatura alcanza los millones de grados y la presión se eleva a los miles de millones de atmósferas. Bajo condiciones tan extremas los núcleos de hidrógeno se funden dando lugar a núcleos de helio, y en este proceso de fusión se genera una apreciable cantidad de energía que fluye hacia la superficie solar. No en vano el hombre se esfuerza por imitar en nuestro planeta este proceso de manera controlada con la idea de disponer así de una fuente de energía virtualmente inagotable; como queriendo traer el Sol hacia la Tierra.

Liberada de las entrañas del Sol, la energía atraviesa la atmósfera de la estrella y se irradia en el espacio principalmente en forma de luz visible (cerca del 40%) y calor (más del 50%); casi todo el resto está constituido de radiación ultravioleta. La Tierra, inmersa en este flujo, no intercepta más que la diezmilésima parte, pequeña fracción que sin embargo constituye un tesoro invaluable: la energía que recibe nuestro planeta en un año es diez veces superior a todas las reservas probadas y probables de energía, incluido el uranio. El Sol es el origen de casi toda la energía accesible en la Tierra, incluida la energía térmica, la de los vientos, la hidroeléctrica y la que se extrae de los combustibles fósiles.

En las capas superiores de la atmósfera, un área de 1 m<sup>2</sup> orientada hacia el Sol, recibe una potencia de 1.4 kW, pero al



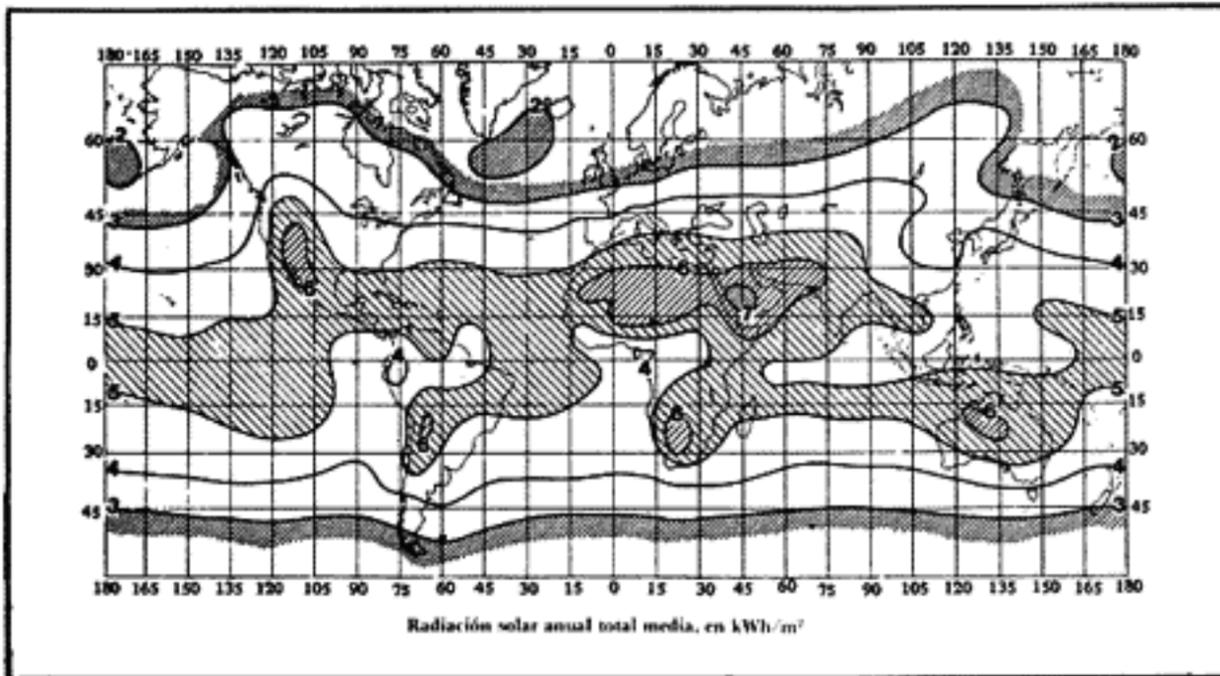
Hildibrand

nivel del suelo las cosas cambian: la potencia varía según la hora del día, las condiciones del cielo, la latitud, etc. Por ejemplo, en México cerca del 70% del territorio recibe una potencia media (promediada sobre todas las horas del día y de la noche y sobre todos los días del año) de casi 0.2 kW/m<sup>2</sup>; en el norte de Sonora y Chihuahua esta cifra asciende a 0.24 kW/m<sup>2</sup>, lo que equivale a una energía diaria de casi 6 kW h/m<sup>2</sup>. Esta insolación tan intensa es una característica más que comparte nuestro país con la mayoría de los países del Tercer Mundo, los que están situados en la zona tropical del planeta. En cuanto a los países nórdicos, su insolación es tres veces inferior (véase la figura 1). Cualquier nación conoce más o

menos su "reserva solar"; no hay yacimientos nuevos por descubrir. Cada nación recibe más energía de la que necesitaría, renovada cada año por el Sol.

Sin embargo, en lo que se refiere a las formas de capturar y aprovechar esta energía solar parece que aún hay mucho por aprender. A través de los tiempos la naturaleza ha usado y desarrollado las formas más diversas, que van desde el calentamiento directo de las aguas oceánicas, por ejemplo, hasta el almacenamiento en forma de energía química en la materia viva como resultado del complejo proceso fotosintético. La naturaleza ha tenido todo el tiempo del mundo para afinar sus mecanismos de aprovechamiento de la energía solar, y los procesos natura-

\* Investigadora del Instituto de Física.  
UNAM



les son en general poco eficientes y lentos pero muy seguros, versátiles y estables frente a las condiciones ambientales.

La entrada del hombre en escena como un fuerte consumidor de energía ha cambiado el panorama: se ha roto el balance entre el ritmo de almacenamiento natural de ésta y el ritmo de consumo; nos estamos yendo sobre las reservas. Si ha de revertirse este proceso no queda más que idear mecanismos alternativos de aprovechamiento de la energía, y para trabajar en ello contamos con tiempos mucho más breves que la naturaleza: los tiempos impuestos por nuestro propio ritmo de consumo. Es claro que lo ideal sería encontrar una fuente energética basada en un combustible que no se agote y cuyo uso no contribuya a romper otros delicados equilibrios de la naturaleza. Justamente en la energía del Sol tenemos una fuente renovable y no contaminante; es cuestión de aprender a aprovecharla de manera directa antes de agotar los productos de la energía solar indirecta.

### ¿QUE HACER CON LA ENERGIA SOLAR?

Nuestras culturas milenarias aprendieron a convivir con la naturaleza y a sacar provecho de sus recursos de manera racional y a escala humana. De entre estos recursos el Sol ha desempeñado un papel primordial, como reflejan por ejemplo las mitologías de los pueblos antiguos. Algunos de nuestros pueblos aún conservan esa estrecha relación con el Sol; aún guían sus actividades por la luz del día; aún toman en cuenta la inclinación del astro en la orientación de sus casas y en la estructuración de sus hábitats. Pero la "civilización" moderna parece haberse olvidado de los beneficios del Sol al construir edificios que reaccionan sin inercia alguna a los mínimos caprichos atmosféricos y que por tanto requieren el uso de

clima artificial, alimentado naturalmente con energía eléctrica generada como producto de la conversión indirecta de energía solar. Es claro que cualquier programa racional de aprovechamiento de los recursos, aun basado en las técnicas más modernas y sofisticadas, haría mal en ignorar las lecciones del pasado y hacer a un lado las técnicas tradicionales desarrolladas por el hombre cuando quizá tenía menos recursos que ahora pero más tiempo para probar sus soluciones. Dentro de este esquema hay una diversidad de posibilidades de conversión de la energía solar, que se pueden clasificar ampliamente en tres categorías, como veremos a continuación.

#### 1. Conversión directa para calefacción.

Primordialmente para calefacción de agua y de espacios, secado de alimentos y materiales, cocina y calor industrial (procesos de vapor y hornos solares). El proceso fundamental actualmente en uso es la acumulación de calor por el efecto invernadero. Parece ser que el francés De Saussure fue el primero que lo aplicó en 1769: preparó cinco cajas, una dentro de la otra, y obtuvo una temperatura de 160°C en el interior, lo suficiente para cocer frutas y destilar agua. La eficacia de los colectores de calor se logra aumentar mediante una combinación adecuada de placas pintadas de negro o de un absorbente selectivo, y placas de vidrio que impiden la salida del calor.

Hoy en día el calor sigue siendo la forma predominante en el consumo de energía. El uso de calor a bajas temperaturas (menos de 100°C), básicamente doméstico y comercial, representa alrededor del 30% del consumo total de energía, lo que significa que al menos este porcentaje de la demanda energética se podría atender mediante la conversión directa de la radiación solar en calor.

2. Conversión aplicando un paso termodinámico intermedio. En este caso la energía solar se transforma primero en calor con la ayuda de colectores, y este calor se convierte después parcialmente en trabajo. Este método se puede aplicar primordialmente a la destilación de agua, refrigeración, generación de potencia mecánica y producción de electricidad a partir del calor, sustituyendo el uso de combustibles no renovables. Como norma estas conversiones implican un bajo rendimiento debido a la limitación del ciclo de Carnot: desde este punto de vista es mejor utilizar el calor a la temperatura más alta posible ( $T_c$ ) y suministrar un enfriamiento eficaz (a la temperatura  $T_f$ ) para aumentar la eficiencia del ciclo de conversión de calor en trabajo, cuyo valor ideal viene dado por la fórmula:

$$\text{eficiencia máxima} = T_c - T_f / T_c$$

Cabe agregar que en la práctica la eficiencia de las máquinas llega a estar muy por debajo de este límite ideal. Precisamente por esta baja eficiencia la industria consume una gran cantidad de calor a altas temperaturas (mayores de 100°C, digamos) para la generación del vapor que mueve las máquinas. En los países industrializados, cerca del 18% del consumo total de energía está destinado a este renglón.

La concentración de calor a altas temperaturas a partir de la radiación solar presenta una serie de problemas prácticos cuya solución adecuada eleva fuertemente los costos, por lo que hoy día este método está aún en seria desventaja frente a los más tradicionales.

#### 3. Conversión directa para electricidad.

En los países industrializados más del 30% del consumo de energía se va en electricidad, y el porcentaje tiende a aumentar en todo el mundo: la creciente demanda de energía eléctrica plantea un problema para la humanidad. Además, debe tomarse en cuenta que la generación de energía eléctrica a partir de combustibles es un proceso muy ineficiente, puesto que desperdicia alrededor de 2/3 partes de la energía inicial. Ante tal situación es claro que conviene desarrollar métodos directos de conversión que no impliquen



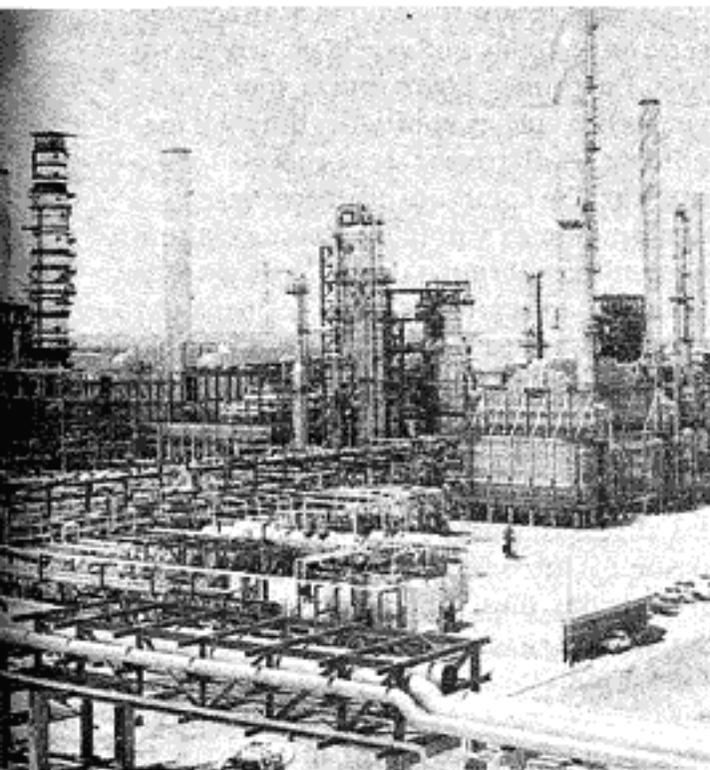
Una alternativa de solución a varios de los problemas energéticos domésticos.

un paso termodinámico con su consecuente limitación en la eficiencia. Claro que cualquier conversión directa también tiene sus limitaciones prácticas, pero al menos no está restringida por la fórmula de Carnot.

Hay aparatos que convierten la energía solar directamente en energía mecánica. Un conocido ejemplo de laboratorio es el radiómetro de bulbo; la eficiencia máxima de este aparato está dada por  $2v/c$ , siendo  $v$  la velocidad que alcanzan las hojas y  $c$  la velocidad de la luz. En condiciones normales de operación podríamos esperar que las aspas de un "molino de sol" similar al radiómetro giraran a 150 km/h, y la eficiencia sería entonces menor que 0.00003%.

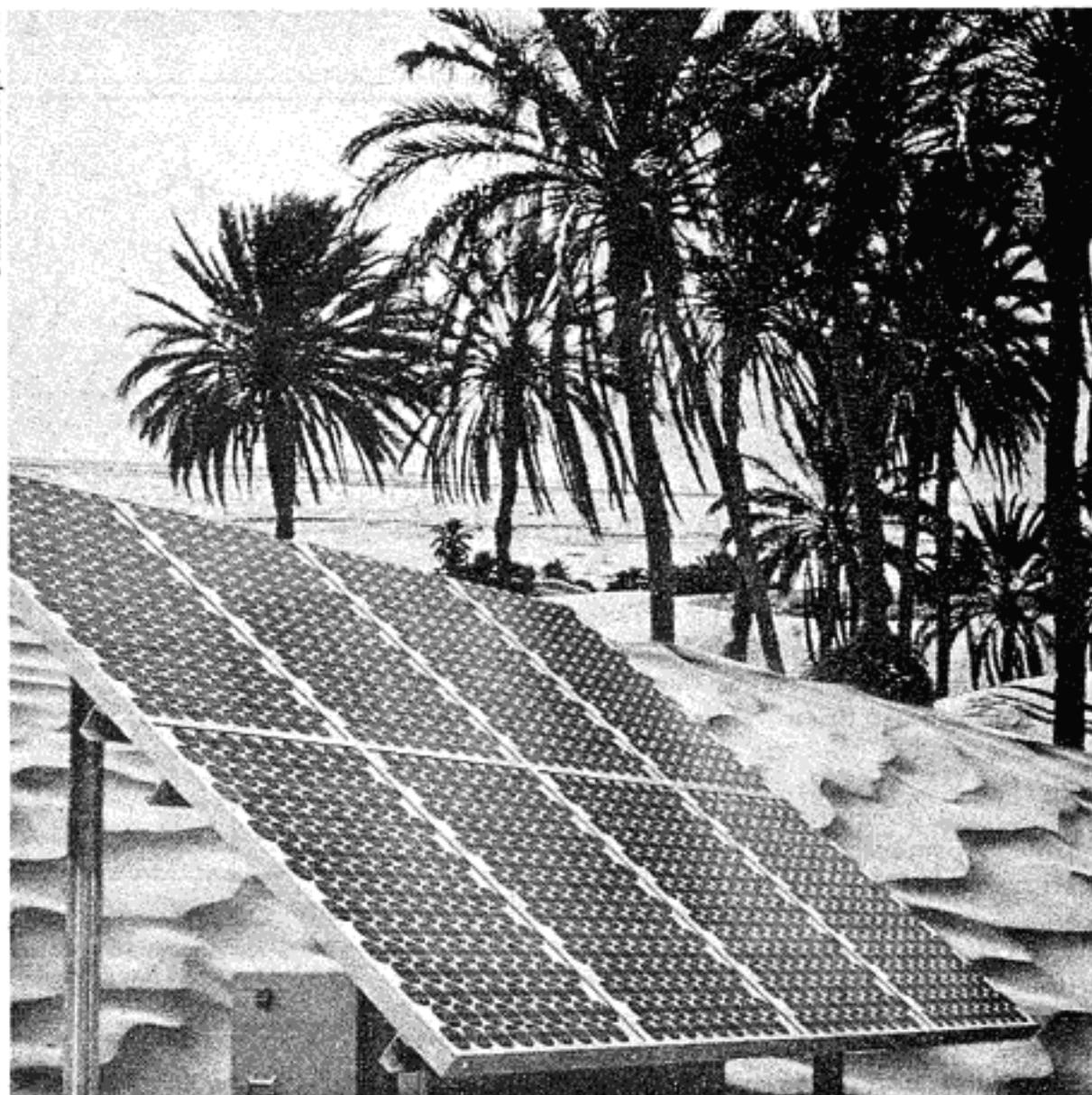
Asimismo hay procesos que convierten la energía solar en química; la fotosíntesis es el más importante de éstos. La síntesis de los carbohidratos implica un complejo ciclo de reacciones enzimáticas que reducen notablemente la eficiencia de la conversión, por lo que no sería éste un proceso a reproducir artificialmente en el laboratorio. La producción de biomasa —vegetación que se cultiva para ser utilizada como combustible— parece ser la alternativa más viable del uso directo de la fotosíntesis para fines energéticos. La producción de gas hidrógeno a partir del agua por medio de fotólisis —que es un proceso químico mucho más sencillo— también ofrece posibilidades interesantes aunque actualmente este proceso se realiza en el laboratorio con una eficiencia muy baja.

Ciertamente el método más promisorio de conversión directa para la producción de electricidad es el fotovoltaico. A él dedicaremos la próxima sección de este artículo.



Tomado de: Imágenes de México, 1979.

Tomado de: Blickpunkt.



Las grandes regiones desérticas pueden ser campo de investigación para desarrollar tecnología aprovechando el sol.

### EL PODER DE LAS CELDAS

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos que generan un voltaje cuando la luz incide en su superficie. Estas celdas comenzaron a desarrollarse significativamente hace 30 años en el campo de las aplicaciones espaciales. Encargadas de convertir directamente la luz en electricidad, estaban destinadas a asegurar la autonomía de vuelo de satélites y cohetes; nada parecía relacionarlas con las necesidades más inmediatas de la humanidad. Más de una decena de millones de celdas abandonaron la atmósfera antes de que encontrarán aplicación en la Tierra, y aun las primeras aplicaciones terrenales importantes fueron en el ámbito militar: los soldados estadounidenses en Vietnam las portaban en sus cascos para alimentar sus radioteléfonos. Hoy día ya no nos asombra ver calculadoras de bolsillo o relojes de pulsera alimentados por celdas solares.

Se puede conseguir un efecto de conversión fotovoltaica en todos los materiales semiconductores. Los aislantes son inapropiados a causa de su baja conductividad; en cambio la conductividad de los metales es insensible a la luz a causa de la alta concentración de electrones libres. Los semiconductores son materia-

les cuyos electrones están lo suficientemente amarrados a los átomos como para comportarse como aislantes; pero al romperse estos amarres con la ayuda de la energía externa (que puede ser térmica o luminosa) los electrones liberados pueden participar en la conducción de electricidad. Además cada electrón que "salta" a la banda de conducción deja un "agujero" que también puede desplazarse (al ser llenado sucesivamente por otros electrones); la corriente eléctrica está constituida por el flujo de electrones y agujeros en el material.

Una celda solar es básicamente un diodo de superficie extendida. En un diodo el paso de la corriente electrónica es impedido en una dirección y facilitado en la otra. Este efecto direccional sobre la corriente se logra mediante la acción de un campo eléctrico fijo en el diodo, producido por la presencia de dos semiconductores diferentes. Por ello las celdas solares se hacen de dos capas de diferentes materiales (los llamados tipo  $p$  y tipo  $n$ ).

Al incidir la luz en la fotocelda, puede ser reflejada, transmitida o absorbida. Dependiendo de la cantidad de energía que porta (o sea, dependiendo de su longitud de onda o color), al ser absorbida puede simplemente calentar el material o bien servir para "empujar" un electrón a

la banda de conducción y al mismo tiempo crear un agujero. El proceso clave para la conversión fotovoltaica es la liberación y separación de las cargas producida por la fotoabsorción: el flujo de electrones y agujeros en direcciones opuestas, gracias al campo eléctrico en la interfase entre los semiconductores. Si las caras externas de los semiconductores están conectadas mediante electrodos a un material conductor, las cargas que lleguen a él fluirán libremente; así habrá corriente eléctrica directa mientras la celda esté expuesta a la luz. (Figura 2.)

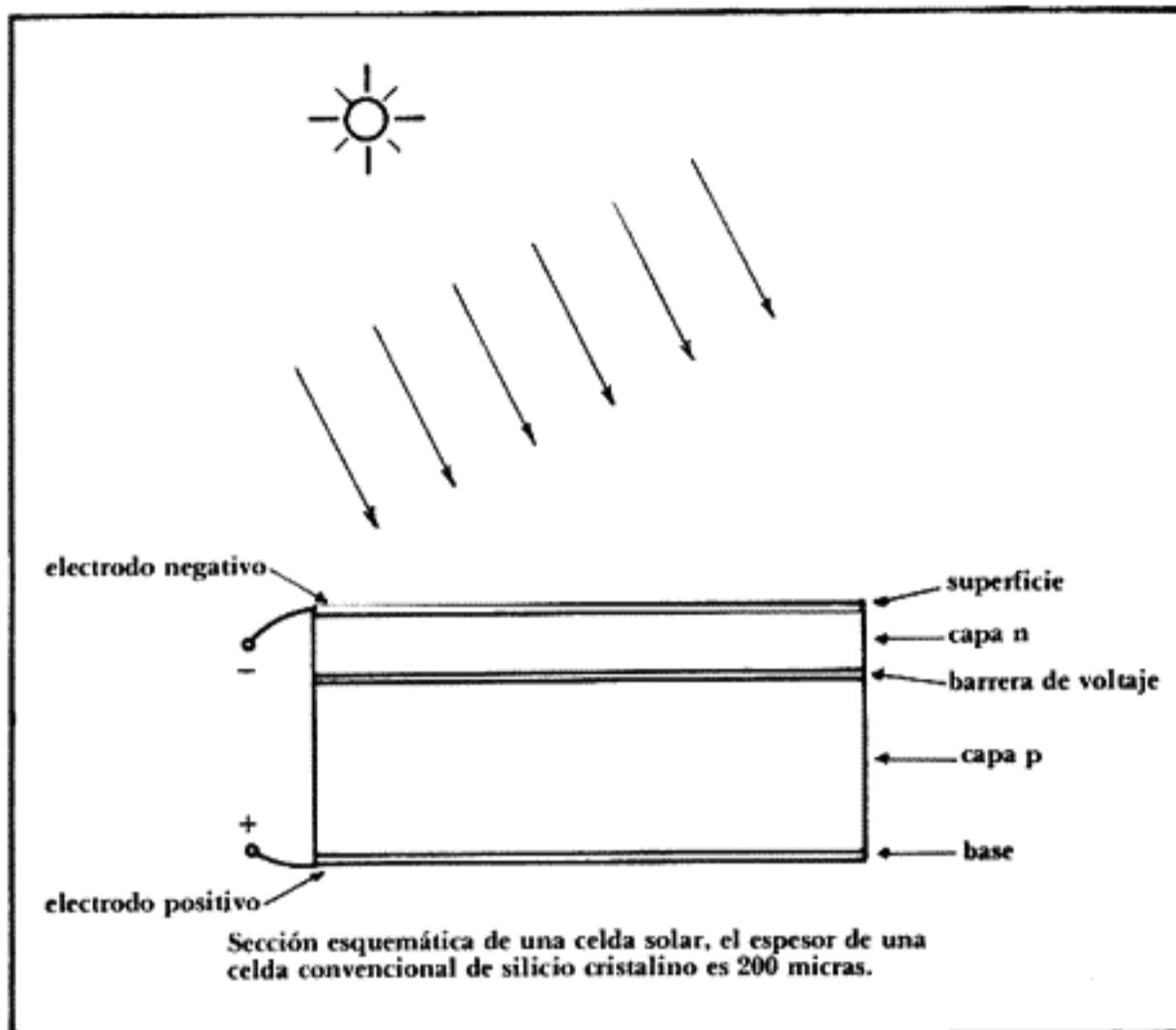
Los semiconductores que mejor se acomodan a la conversión de luz solar son los más sensibles: aquéllos que dan el mayor producto de corriente-voltaje para la luz visible. Materiales como el PbS, que son sensibles a la luz infrarroja, son útiles como detectores de radiación infrarroja pero no como fotovoltaicos; el ZnS, sensible a la parte ultravioleta del espectro solar, tampoco es apropiado. Hasta la fecha el material fotovoltaico más importante ha sido el silicio monocristalino, cuya curva de respuesta espectral corresponde de manera cercana a la curva de irradiación solar (véase la figura 3) y cuyo rendimiento teórico es de 28%; en la práctica se ha obtenido una eficiencia de 14%. Otros materiales que se han utilizado son aleaciones como CdS, GaAs y CdTe, en forma de policristales delgados (hasta de 1 m de espesor), lo cual simplifica su manufactura y reduce los costos de producción.

Recientemente se han desarrollado materiales fotovoltaicos novedosos, entre ellos el silicio amorfo, que no tiene la estructura de latiz regular del silicio cristalino. La estructura amorfa aumenta considerablemente la probabilidad de que la luz sea absorbida, por lo que una capa amorfa de 0.5 micras equivale por su efecto a 300 micras del cristal. Por lo demás, mediante la adición de otros materiales como carbono, germanio o nitrógeno, se

Célula solar para el suministro de un pluviómetro.



Tomado de: Electricidad Solar, 1979.



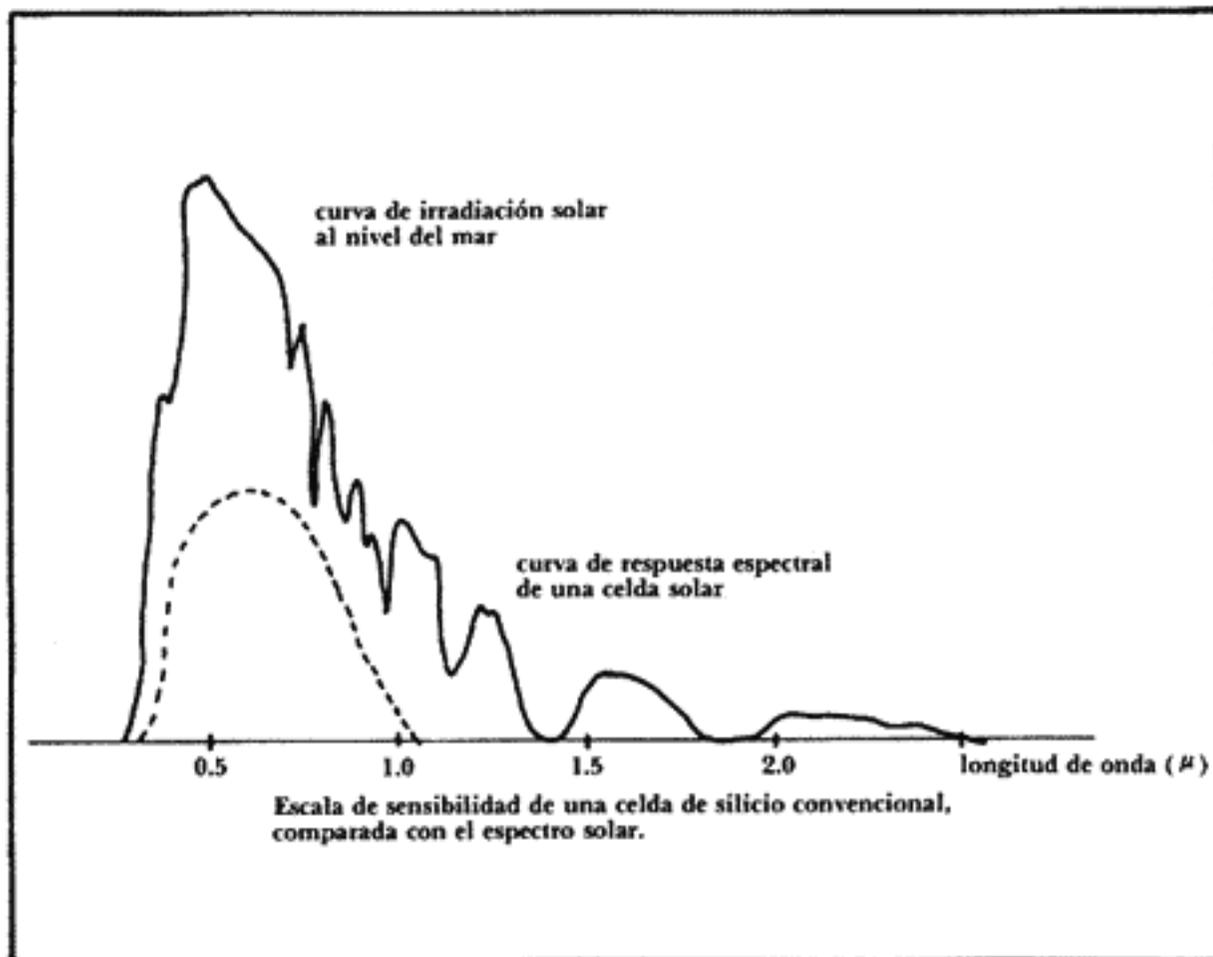
ha logrado alterar la curva de respuesta espectral, de manera que se puede adaptar el silicio amorfo a diferentes condiciones de iluminación. La tecnología de capas delgadas tiene la ventaja adicional de permitir el apilamiento de celdas con diferentes respuestas espectrales, de manera que la primera colector la luz azul, otra la luz roja, etc., y así se aproveche en su totalidad el espectro solar.

El voltaje de salida de una celda convencional de silicio es cerca de 0.5 V, y la corriente típica de una celda de 7.5 cm de diámetro es 1 Amp.; para producir mayores voltajes y corrientes se conectan las celdas en serie y en paralelo. Un arreglo de este tipo sirve para proveer de corriente eléctrica, o bien para acumular energía en una batería. Los dispositivos comerciales operan actualmente con eficiencias que varían entre 8 y 12%, aún muy por debajo de las máximas eficiencias teóricas. Pero lo que ha detenido su empleo a mayor escala es el costo de instalación: en 1974 cada watt de potencia instalada costaba 50 dólares. El esfuerzo de investigación emprendido en años recientes ya ha reducido este costo a la décima parte, y los expertos calculan que en la próxima década los costos se abatirán otro tanto, merced al desarrollo de nuevos materiales; de ser así, en 1995 la electricidad solar competirá en costos con las formas más convencionales de energía. El reciente descubrimiento de materiales supercon-

ductores de "alta" temperatura crítica puede favorecer en el futuro cercano el desarrollo de la energía solar, al permitir la construcción de acumuladores eléctricos de alta eficiencia y bajo costo.

Esta situación abre las perspectivas a nuevas aplicaciones de la tecnología solar, como la señalización en carreteras y vías férreas, bombeo de agua, telecomunicación, locomoción de vehículos terrestres y acuáticos y, sobre todo, suministro local de energía a regiones geográficamente apartadas.

La generación fotovoltaica ofrece una serie de ventajas que vale la pena mencionar. En primer lugar utiliza una fuente energética que es confiable, limpia e inagotable. A diferencia de la energía fósil o nuclear, la solar no produce desechos contaminantes y prácticamente no altera el equilibrio térmico de la Tierra porque la radiación solar absorbida se disipa tarde o temprano en forma de calor. No requiere de partes móviles, de manera que una planta solar básicamente no plantea problemas de mantenimiento, como lo han demostrado en la práctica las diversas plantas pioneras instaladas desde los años 60. Las celdas pueden ser producidas masivamente en corto tiempo, lo cual es importante para su instalación a gran escala. Una planta de más de 1 MW puede ser construida e instalada en menos de un año, como lo muestra la



planta de 7.2 MW en Carrisa Plains, California. Otra característica importante es la versatilidad y flexibilidad de las plantas fotovoltaicas: pueden ser instaladas cerca del lugar de consumo y pueden tener cualquier tamaño, desde el que se usa en los relojes digitales hasta el necesario para suministrar 100 MW o más.

Con los rendimientos actuales de operación, un área menor que 1 000 km<sup>2</sup> cubierta de celdas solares en el noroeste del territorio alcanzaría para satisfacer la demanda actual de energía eléctrica nacional. Claro que por razones prácticas nadie insistiría en instalar un enorme generador en el desierto de Sonora para después transportar la energía por todo el país; sería más razonable instalar sistemas de conversión a pequeña o mediana escala según las necesidades locales o regionales. Por ejemplo, una superficie de 20 m<sup>2</sup> de celdas solares sería suficiente para satisfacer con creces los requerimientos domésticos de una familia.

Sería ingenuo —o al menos ilusorio— pretender que la energía solar directa solucionará todas las demandas de energía; pero sí puede afirmarse que tiene muy amplias posibilidades de aumentar en importancia comparada con los combustibles convencionales. Suponiendo que los esfuerzos en la investigación y el desarrollo de la tecnología solar contribuyeran a resolver sus problemas actuales, princi-

palmente los que afectan su comodidad de uso y su competitividad económica, es razonable esperar que la energía fotovoltaica satisfaga el 50% de la demanda de electricidad y que el calor solar directo cubra más del 25% de la demanda total de calor a escala mundial. Aun suponiendo

Tomado de: *Electricidad Solar*, 1979.



Una fuente energética solar podría resolver muchos de los requerimientos de poblados enteros.

que estas cifras son optimistas, vale la pena el esfuerzo.

Dentro de este esquema general, es claro que cada nación ha de escoger su propio estilo de tecnología solar —o, mejor aún, de combinación de tecnologías— en función de sus requerimientos específicos, infraestructura industrial, condiciones locales, recursos, hábitos y tradiciones culturales, etc. Se trata de desarrollar y aplicar tecnologías racionales que sean al mismo tiempo apropiadas y avanzadas, que operen en armonía con el hombre y con la naturaleza. ⊕

## BIBLIOGRAFIA

1. Antonio Alonso Concheiro y Luis Rodríguez Viqueira, **Alternativas Energéticas**. Conacyt-FCE, México, 1985.
2. Pierre Audibert, Danielle Rouard, **L'Energie Solaire** Newton Compton, Roma, 1980.
3. Yoshihiro Hamakawa, **Photovoltaic Power**. Scientific American 256, 77 (abril 1987).
4. Wolfgang Palz, **Electricidad Solar**. Editorial Blume-Unesco, Barcelona, 1980.
5. Sol Wieder. **An Introduction to Solar Energy for Scientist and Engineers**. John Wiley, New York, 1982.