

# PERSPECTIVA

## AMBIENTAL 16

### Energía fotovoltaica



P E R S P E C T I V A  
A M B I E N T A L 16

**Edició:**

Associació de Mestres Rosa Sensat  
Drassanes , 3 • 08001 Barcelona  
• Tel: 93-481 7373 • Fax: 93-301 75 50  
Fundació TERRA  
Avinyó, 44 • 08002 Barcelona  
• Tel/Fax: 93-304 0220  
<http://www.terra.org>

**Redacció:**

Jordi Miralles i Ralf Massanés

**Il·lustracions interiors cedides per**

ATERSA, BP Solar, ISOFOTON, SEBA, SIEMENS  
SOLAR, T-SOL/ACYCSA.

**Impressió sense fotolits amb el sistema Computer to  
Print. Autoedició feta en ordinadors alimentats  
amb energia fotovoltaica. Maquetat amb Adobe  
Page Maker 6.5 d'Adobe Systems.**

**Impressió:**

Impressió en paper ecològic  
Romanyà-Valls  
**Dipòsit Legal:** B. 2090-1975

**Energía fotovoltaica**

El Sol, nuestro astro particular  
Los ritmos del Sol  
La energía emitida por el Sol  
Los movimientos del Sol  
La energía calorífica del Sol  
La energía fotónica  
El efecto fotovoltaico  
Los semiconductores  
La célula fotovoltaica  
El fenómeno fotovoltaico a lo largo del año  
Razones para escoger la energía fotovoltaica  
Diseño de un sistema fotovoltaico  
Conexión fotovoltaica a la red eléctrica  
Electrificación fotovoltaica rural  
Otras aplicaciones de la energía fotovoltaica  
El coste de la tecnología solar  
La energía en el siglo XXI  
El cambio energético en Europa

**El poder del Sol**

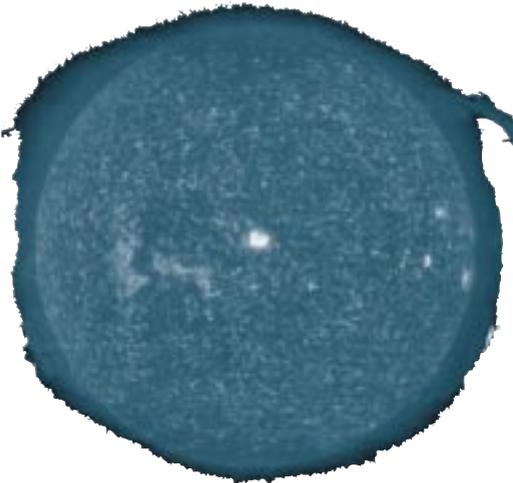
Kits para la energía solar  
Poder solar para las escuelas  
Experimentos simples con células fotovoltaicas  
Ahorcar el contador eléctrico  
La diarrea energética de la escuela  
El baile de las unidades de energía  
Cálculo de una instalación fotovoltaica  
Iluminar la noche ártica

*El Sol da vida al planeta Tierra. Su energía continua permite la dinámica atmosférica y la vida de los seres vivos. Para la humanidad, el Sol ha sido siempre un dios.*

*El último siglo del segundo milenio nos ha abierto las puertas a convertir la radiación solar en una fuente de energía renovable y alternativa para continuar progresando como especie de forma sostenible.*

## Energía fotovoltaica

**Fundació TERRA\***



\* La Fundación TERRA es una fundación privada cuyo objetivo es canalizar y fomentar iniciativas que favorezcan una mayor responsabilidad de la sociedad en el ámbito del medio ambiente.

## El Sol, nuestro astro particular

El Sol, el astro que da vida a la Tierra y que configura el sistema planetario en el que nos encontramos, es un estrella formada por hidrógeno y helio. Se calcula que tiene un antigüedad de 4.500 millones de años y que aún le quedan unos 5.000 millones de años más antes de que se convierta en un cuerpo frío.

Hoy por hoy, se trata de un inmenso horno nuclear, con un diámetro 110 veces superior al de la Tierra. La energía que nos llega a nosotros es ínfima (el núcleo del Sol, un 40 % de su masa, genera 90 % de la energía) si tenemos en cuenta que se trata de un reactor termonuclear de fusión que genera temperaturas de 60 millones de grados Kelvin. En la superficie solar la temperatura es sólo de unos 6000° K pero, en la corona, la capa gaseosa que rodea la estrella es de unos 2 millones de grados.

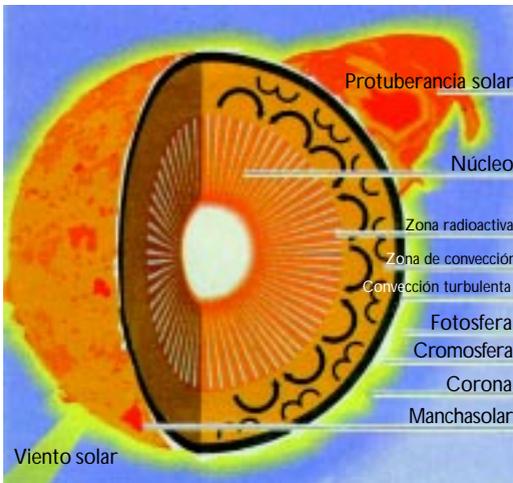
La corona solar recuerda una faja blanca

en forma de abanico, que se extiende hacia el exterior del cuerpo solar. El mejor momento para observarla es un eclipse total.

El sol no es un cuerpo sólido sino una enorme bola de gas termonuclear concentrado por la enorme fuerza de gravedad que ejerce el núcleo. Curiosamente, la masa de vapor espeso del ecuador del Sol y de los polos gira a distinta velocidad. Este estado de la materia del Sol se llama plasma y los flujos que se crean entre el núcleo y la superficie generan un potente campo magnético.

### Los ritmos del sol

Desde la superficie se producen tremendas explosiones que elevan llamaradas a centenares de miles de kilómetros (800.000 km., la llamarada más grande registrada). Esta expulsión de masa solar hacia el espacio es la responsable del llamado viento solar, formado por partículas cargadas eléctricamente que producen alteraciones



El Sol no es un sólido como los planetas, sino una enorme bola de gas que brilla por su elevada temperatura.

magnéticas incluso en la atmósfera terrestre. Las enormes erupciones solares, equivalentes a la explosión de 1.000 bombas atómicas,

crean unos túneles de viento solar que llegan hasta los confines de nuestro sistema planetario. La interacción del viento solar sobre nuestra atmósfera genera unas auroras polares y las interferencias con las ondas de radio. En los periodos de máxima actividad solar las telecomunicaciones se pueden ver gravemente afectadas.

La actividad del Sol varía a lo largo del tiempo. El primero en darse cuenta fue Galileo quien, a finales de 1610, observó por primera vez las manchas del Sol. Estas manchas oscuras que aparecen sobre la superficie solar son zonas más frías, a unos 2.000 grados menos que el resto de la superficie. Las observaciones de Galileo fueron confirmadas por el científico alemán Heinrich Samuel Schwabe en 1843. Después de dieciocho años de estudio anunció que las manchas solares no aparecen por azar sino que siguen un ciclo. Durante unos cuantos años seguidos, el número de manchas aumenta hasta llegar a un máximo. Después decrecen hasta un mínimo y, en determinados periodos, llegan a desaparecer totalmente durante años.

El ciclo de las manchas solares suele ser de unos años, pero pueden haber ciclos más largos o más cortos. Esto fue determinado por el astrónomo inglés Edward Walter Maunder en 1893, a partir de datos registrados desde la época de Galileo por distintos astrónomos. Maunder descubrió, por ejemplo, que entre 1645 y 1715 no se registraron manchas. Estas épocas, que pueden durar unas cuantas décadas, se llaman mínimo de Maunder. Gracias al estudio del crecimiento de los anillos de los árboles se sabe que han habido distintos ciclos sin manchas en el Sol durante los años 700, 1500 y 1650 de nuestra era.

La desaparición de las manchas del Sol indica una disminución de la actividad del astro rey, que provoca descensos de hasta dos grados y medio de la media de la temperatu-

ra terrestre. Por ejemplo, ahora sabemos que en el Estado español, durante el siglo XVII, hubo sequías importantes que causaron pérdidas en las cosechas y desastres naturales que hicieron disminuir la población de ocho millones de habitantes a siete millones.

En verano de 1997 se inició un nuevo ciclo

de crecimiento de la actividad solar que alcanzará su máximo hacia el 2002. El estudio del Sol se revela de un gran interés para conocer sus posibles repercusiones sobre el clima, la capa de ozono y las telecomunicaciones.

## Los eclipses de Sol

Los eclipses o ocultación entre astros respecto al Sol son uno de los fenómenos más expresivos del movimiento orbital sideral. La sombra del eclipse sobre el Sol o la Luna puede ser total o parcial. De Sol o de Luna, el eclipse requiere Luna Nueva y una determinada posición orbital. La combinatoria entre las distintas posiciones o ciclos que admiten un eclipse hace que sea un fenómeno fácilmente calculable.

Los astrónomos babilonios ya descubrieron el llamado Saros o período de “repetición” de 18 años, 11 días y 8 horas. La repetición de los eclipses sigue una pauta regular de tiempo. El monumento megalítico inglés de Stonehenge tiene muchas posibilidades de ser un observatorio para calcular eclipses a partir de una representación del ciclo lunar y de los nodos donde se cortan las órbitas de la Tierra y la Luna.

Las míticas serpientes podrían ser los símbolos de la invisible presencia en el espacio y el tiempo de los eclipses de Sol y de Luna.

La realidad es que, para un determinado lugar o punto geográfico, un eclipse no se repite más que una vez cada 360 años aproximadamente. Por eso, el eclipse total de Sol del 11 de agosto de 1999 sobre Europa Central fue un suceso para no perderselo. A pocos kilómetros de París empezaba la faja de oscuridad total.

Seguramente, los eclipses no son más que una curiosidad natural en la cual el día es oscuro y la noche puede perder la Luna, pero siempre por un periodo efímero de sólo unos cuantos minutos. Pero precisamente esta excepcionalidad programada los convierte en un atractivo que no podíamos dejar de nombrar hablando de energía

fotovoltaica. Al fin y al cabo, los eclipses solares son ocasiones ideales para estudiar algunos de los parámetros de la energía solar. Además, es un fenómeno lleno de magia que a lo largo de la historia ha dejado huellas importantes. Recordemos por ejemplo el eclipse solar del 28 de mayo del año 585 a.C., que fue definitivo para acabar la guerra de los Cinco años entre lidianos y medeos. También parece que haya una cierta relación entre los eclipses y los terremotos, aunque no pueda ser demostrado con certeza. Sin embargo, el terrible terremoto del 16 de septiembre de 1978 en Irán, que causó la muerte de más de 25 mil personas y sacudió las entrañas del planeta, lo hizo tres horas y media antes de un eclipse total de Luna.

Sea como sea, los eclipses de Luna o Sol que hay cada año, parciales o totales, nos ofrecen una oportunidad para interesarnos más por estos dos astros que determinan nuestro estado vital y que, en el caso del Sol, alimenta energéticamente nuestro planeta. Por otro lado, la belleza plástica del juego de luz de un eclipse es una experiencia vital única.



## La energía emitida por el Sol

En la Tierra sólo recibimos dos millonésimas partes de la energía que genera el Sol. A ras de suelo, la energía que llega depende de la zona geográfica y de la estación del año. La evaluación de la radiación recibida en un punto determinado es la suma de la radiación directa y de la radiación difusa condicionada por la nubosidad o otras condiciones atmosféricas. A este parámetro, lo llamamos insolación y se mide, entre otras unidades, en kWh/m<sup>2</sup>. Lógicamente, en nuestra latitud cambia entre verano e invierno. Curiosamente, los valores de máxima insolación no se producen en el ecuador sino precisamente en la latitud de 40°N, la nuestra aproximadamente. Esto se debe a que en verano el Sol pasa por nuestra vertical, el día se alarga y podemos tener hasta 13,5 horas de luz.

La energía de los fotones de la luz del Sol que podemos aprovechar para convertir en electricidad es, de media, 1 kW/m<sup>2</sup>. Sin embargo, la energía que llega a las capas inferiores de la atmósfera, sin obstáculos para atenuarla, es de 1,35 kW/m<sup>2</sup> y se llama constante solar. Ésta varía a lo largo del día ya que, en las

primeras y últimas horas de sol, el ángulo está tan inclinado que la energía incidente es muy baja. La energía total incidente en un día completo puede superar los 8 kWh/m<sup>2</sup> en nuestra latitud. La media anual que recibimos por día en nuestro país es de unos 4,5 kWh/m<sup>2</sup> sobre una superficie horizontal.

La radiación solar puede ser utilizada en su forma energéticamente directa o bien a través del calor que lleva. Estas dos formas de energía del sol, fotónica y calorífica, son las que distinguimos cuando hablamos de manera genérica de energía solar.

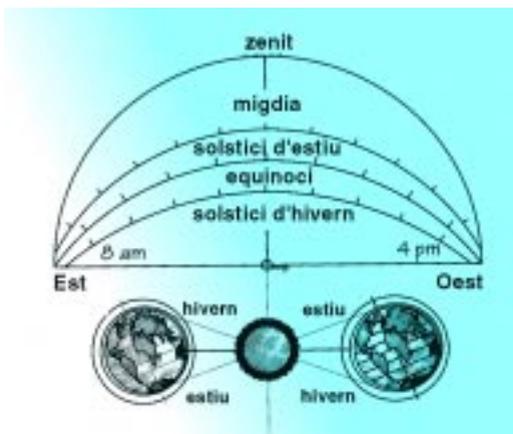
## Los movimientos del Sol

La rotación terrestre y la órbita alrededor del Sol condicionan algunas de las características de la radiación solar. Para poder evaluar la energía del Sol se tienen en cuenta algunos parámetros de geometría espacial. La longitud y la latitud que definen las coordenadas de un punto sobre la superficie terrestre también condicionan la energía recibida. A lo largo del año, la elipticidad de la órbita alrededor del Sol hace variar los parámetros definidos. Finalmente, a pesar de que a efectos prácticos resulta invariable, no podemos olvidar que el ángulo de inclinación de la esfera terrestre (la llamada declinación), hoy de 23° 27', varía en periodos de 40.000 y 100.000 años entre 22° y 24°. Estas distintas posiciones son las responsables de los cambios climáticos que se han sucedido a lo largo de la historia planetaria.

En resumen, la clave para conocer el rendimiento de la energía solar son el número de horas de luz recibidas y las coordenadas geográficas del lugar donde nos encontramos.

## La energía calorífica del Sol

El aprovechamiento de la energía calorífica depende del sistema captador que debe tener un elemento con un poder de absorción máximo



Posición relativa del Sol sobre el horizonte durante las cuatro estaciones.

y unas pérdidas térmicas mínimas.

Lógicamente, el color negro es el de máxima absorción, pero también depende del material. Por ejemplo, el hierro colado tiene una capacidad térmica de  $1,02 \text{ cal/cm}^3$  y el cobre, de  $0,8 \text{ cal/cm}^3$ ; en cambio, la de la madera es de sólo  $0,17 \text{ cal/cm}^3$ . Esto significa que la madera es un material ocho veces más aislante que el cobre, por ejemplo. Sin embargo, los metales disminuyen por 10 su eficiencia al oxidarse. Por eso, actualmente, para resistir el envejecimiento se fabrican estructuras de cerámica o vidrio que son prácticamente inalterables frente a la radiación ultravioleta y la humedad. Otro aspecto clave para una buena captación del poder calorífico es concentrarlo y estimular el efecto invernadero o de captación de la radiación reflejada.

Las aplicaciones de la energía fototérmica son numerosas. Las más conocidas son el suministro de agua caliente sanitaria y calefacción, la desalinización del agua de mar, centrales electrosolares y la cocina solar. En esta monografía, a pesar de ser de un gran interés, no examinamos a fondo las aplicaciones de energía solar térmica porque requeriría un trabajo aparte.

## La energía fotónica

La energía transportada por un fotón es proporcional a la frecuencia de la radiación,

la cual se extiende entre los 300 nanómetros y los  $4 \mu\text{m}$ . Dado el valor de la llamada constante solar antes mencionada, de  $1000 \text{ W/m}^2$ , la posibilidad de conversión eléctrica depende de la eficiencia de absorción de los materiales utilizados y del intervalo de frecuencia en el cual se produce el salto de electrones. Esto hace que no siempre el mejor material en una característica la mantenga en el mismo rango de luz recibida. En general, las células fotovoltaicas que se comercializan tienen un rendimiento de un 14 % sobre la energía de  $1 \text{ kW/m}^2$  y el valor del corriente generado es de  $30 \text{ mA/cm}^2$  y la tensión máxima es de 0,58 Voltios. Lo que varía a lo largo del día es la corriente de la célula., pero la tensión se mantiene. Por eso, para aprovechar esta energía es necesario conectar en paralelo un buen número de células.

## El efecto fotovoltaico

El nombre de fotovoltaico proviene de la raíz *phos* (luz, en griego) y de *volta* -en honor de Alexander Volta (1745-1827), pionero de la electricidad- para designar la generación de electricidad con energía radiante del sol.

El efecto fotovoltaico fue descubierto hace siglo y medio (1939) por el físico francés Edmon Becquerel. En uno de los múltiples experimentos que hizo para estudiar la electricidad, observó que dos planchas de

## El dios Sol

No es extraño que los dos astros que marcan el ritmo del día y de los años, el Sol y la Luna, hayan sido siempre considerados divinidades a lo largo de la historia de la humanidad. En todas las culturas antiguas, desde los sumerios, los egipcios (Ra), los persas (Mitra), los aztecas (Huitzilopchtli), los incas (Inti), los mayas, los eslavos (Zenit), los griegos (Helios) o los japoneses (Amaterasu-no Mikono), el Sol fue una divinidad del sistema religioso.

En la mayoría de las culturas el Sol es un dios masculino, pero hay excepciones. Así, en la mitología japonesa y en distintos pueblos de Oceanía, el Sol es una diosa. Otra curiosidad es que en la mitología china se dice que dentro del Sol hay un cuervo, hecho que podría demostrar que ya habían observado las manchas solares.

metal, sumergidas en un líquido conductor y expuestas a la luz del sol, generaban un pequeño voltaje. Casi cuarenta años más tarde, un noble inglés, Willoughby Smith, descubrió que el selenio era sensible a la luz. Estudios posteriores con este elemento permitieron a Adams y Daays comprobar que la luz excitaba el selenio y se generaba electricidad. En 1886 un industrial americano, Charles Firtts, desarrolló la primera célula de selenio, pero la primera célula fotovoltaica no se fabricó hasta el año 1954 en los laboratorios Bell.

A grandes rasgos podemos decir que el

efecto fotovoltaico es la capacidad que tienen algunos elementos químicos para absorber fotones (nombre que reciben las partículas de luz del sol) y luego liberar una corriente de electrones que, si se captura, puede ser utilizada como electricidad.

## Los semiconductores

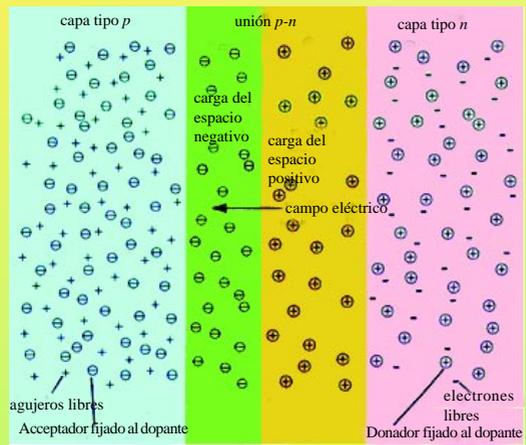
La clave para el desarrollo de la conversión fotovoltaica han sido los elementos semiconductores. El silicio, el germanio, el arseniuro de galio, el sulfuro de cadmio y algunos otros elementos tienen la caracterís-

### Dentro de las entrañas de los semiconductores

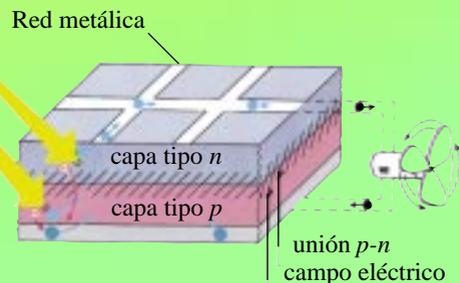
Una célula fotovoltaica se compone de una matriz que incluye un semiconductor de tipo *n* (con un electrón más) y uno de tipo *p* (con un electrón menos). Así, los electrones de la capa *n*, donde están en alta concentración, tienden a ir hacia la capa *p*, la cual apenas tiene electrones. Al revés pasa con los agujeros libres, mayoritarios en la capa *p*. El resultado es una neutralización en la zona de unión *p-n* que además genera un campo eléctrico por el hecho de encontrarse entre dos zonas de carga opuesta. El campo eléctrico de la unión *p-n* va del lado *n* al lado *p* y separa los pares electrón-agujero. Los agujeros, las cargas positivas, las hace viajar hacia el lado *p*, hecho que provoca la extracción de un electrón gracias a la red de metal incluida en la matriz

semiconductora. Al mismo tiempo, lleva los electrones hacia el lado *n* y también los inyecta al metal. Así, se genera la corriente eléctrica que, en el caso del silicio, produce una diferencia de potencial de 0,5 V. Para que los electrones del semiconductor puedan ser expulsados a través de un circuito y producir corriente eléctrica, hace falta que tengan suficiente energía.

Un material semiconductor genera energía, pero no la almacena.



Detalle del interior de las capas del semiconductor de una célula fotovoltaica y movimientos de las cargas eléctricas entre capas.



tica de ser portadores de dos tipos de corriente eléctrica: una con electrones libres, capaces de viajar por el vidrio, y otra llamada *vacío*, dotada de carga positiva. Así, existen semiconductores llamados tipo *p*, en los cuales predomina la conducción por vacíos; y semiconductores llamados tipo *n* en los que predomina la conducción de electrones libres. Pero la característica más importante de los semiconductores es que la resistividad eléctrica puede disminuir si añadimos impurezas (dopantes). La acción de introducir estas impurezas que afectan a las propiedades eléctricas del semiconductor se llaman dopaje.

Los dopantes son elementos similares en estructura y valencia química que se incluyen dentro de la matriz para que haya un electrón de más o de menos que en el semiconductor. Pueden además captar, controlar y guiar este haz de electrones en la matriz semiconductor.

El silicio es el semiconductor más utilizado en tecnología fotovoltaica. Primero es necesario obtener el silicio con una gran

pureza y después doparlo con impurezas en concentraciones infinitesimales (de  $10^{16}$  a  $10^{19}$  átomos de impureza por  $\text{cm}^3$ ). Añadiéndole impurezas de fósforo o arsénico, el silicio pasa a ser de tipo *n*. En cambio, las impurezas de boro o galio, lo convierten en tipo *p*. Ésta es una de las razones por las que las células fotovoltaicas son caras y requieren una tecnología de vanguardia.

El hecho que explica el comportamiento de los semiconductores tiene que ver con la distribución de los átomos en la estructura cristalina. Recordemos que un átomo de silicio es como un tetraedro. Así, cuando se introduce un átomo de dopante tipo *p* como el fósforo el resultado es un electrón libre que puede viajar por el cristal de silicio. En cambio, en los semiconductores de tipo *n*, como el silicio dopado con boro, quedan cargas de signo positivo.

Cuando un semiconductor se ilumina se rompen enlaces químicos y se genera electricidad, variable según la temperatura ambiente, que reconducirá el movimiento de



Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio puro que, después de fundirse, se estira para formar un bloque monocristalino. Este bloque se sierra en láminas finas que se dopan, se metalizan y se dejan a punto para fabricar los paneles solares de 36 células.

THE IMAGE BANK D. Sarraute

electrones en la dirección y sentido de la llamada unión *p-n*. En otras palabras, los fotones de la luz producen una tensión eléctrica parecida a la que se produce en los bornes de una pila seca. Mediante contactos metálicos en cada una de las caras, se puede capturar la energía eléctrica y utilizarla en distintas aplicaciones.

## La célula fotovoltaica

Una célula solar es una placa de semiconductor tipo *p*, de unos 0,3 mm de grosor, y otra de tipo *n* que suele ser todavía más delgada (de

unos 0,5  $\mu\text{m}$ ). El plan de separación entre ambas regiones de conductividad se llama unión *p-n* y es fundamental en el funcionamiento de las células fotovoltaicas.

Las células solares convierten la energía luminosa en eléctrica cuando los fotones inciden sobre el material semiconductor con energía suficiente para romper los enlaces de los átomos y generar una dinámica de tipo electroquímico en el seno del semiconductor. Para poder extraer esta corriente, como ya hemos dicho, se colocan contactos metálicos en cada una de las caras. Por eso, el aspecto de una célula solar recuerda al de una reja sobre

### Hitos históricos de la tecnología fotovoltaica

- 1839. Edmon Becquerel observa el efecto fotovoltaico.
- 1886. Se construye la primera célula fotovoltaica de selenio con una eficiencia de conversión eléctrica de un 1 y 2 %. Todavía hoy, muchos sensores de cámaras fotográficas son de selenio.
- 1918. El científico polaco Czochralski desarrolla un método para hacer crecer cristales de silicio.
- 1954. La Bell Telephone Laboratory produce la primera célula fotovoltaica de silicio con una eficiencia del 4,5 %, que se mejoró hasta el 6 % unos meses después.
- 1958. El satélite Vanguard incorpora un panel solar de 1 watio para la radio que operaría durante ocho años.
- 1963. En Japón se instalan módulos de hasta 242 W para iluminar una casa con una instalación fotovoltaica que es la más grande del momento.
- 1973. Crisis del petróleo. El encarecimiento súbito de los hidrocarburos fósiles provoca una fiebre para encontrar sistemas de energía alternativos.
- 1977. La producción de placas fotovoltaicas alcanza la cifra de los 500 kW.
- 1980. La compañía ARCO Solar (hoy Siemens Solar) produce más de 1 MW de módulos fotovoltaicos en un año y British Petroleum (BP) se introduce en el mercado solar.
- 1981. El avión experimental Solar Challenger hace su primer vuelo.
- 1983. Un coche movido por energía solar consigue recorrer 4000 Km. por el continente australiano en menos de 20 días a una velocidad media de 24 km./h y un máximo de 72 km./h.
- 1986. ARCO Solar desarrolla y comercializa el primer módulo de película fotovoltaica. Se alcanza la cifra de 26 MW de producción fotovoltaica en el mundo.
- 1993. La UNESCO promueve la Primera Conferencia Mundial de la Energía Solar. Se inaugura en Toledo una planta fotovoltaica de 1 MW.
- 1995. Se inaugura la primera aplicación de tejado y fachada solar fotovoltaica integrados, en un edificio de Cataluña, la Biblioteca de Mataró, a iniciativa de la empresa TFM. El mercado mundial alcanza los 80 MW en módulos fotovoltaicos.
- 1997. El presidente Bill Clinton anuncia el programa de promoción de la energía fotovoltaica y fototérmica de un millón de tejados instalados en EEUU para el 2010.
- 1999. Se conecta a la red eléctrica catalana la primera central de energía fotovoltaica privada, propiedad de la fundación Terra. Se alcanza una producción fotovoltaica de 150 MW en todo el mundo.

una matriz cristalina variable según el tipo de material semiconductor utilizado, generalmente silicio mono o policristalino.

Así se consigue que, con luz suficiente, una célula solar de silicio monocristalino, de unos 75 cm<sup>2</sup> genere una corriente de 0,4 V y una potencia de 1 Watt. La potencia de un módulo es proporcional al número de células conectadas entre ellas. Las células se encapsulan entre vidrio laminado y plástico para poder proteger las conexiones eléctricas

y resistir las inclemencias del tiempo y dar a los paneles fotovoltaicos larga vida (alrededor de unos 30 años como mínimo).

Un aspecto importante a considerar es la temperatura de trabajo. Las células fotovoltaicas se calientan con la radiación solar. Por eso los paneles deben colocarse de manera que queden bien aireados, y deben estar diseñados para poder disipar el calor. La tensión generada disminuye por encima y por debajo de los 25°C que es el óptimo. La

## Células fotovoltaicas

Se trata de dispositivos fotovoltaicos de mayor aplicación para la conversión eléctrica de la luz solar.

- *Silicio monocristalino*

Los módulos hechos con células de silicio monocristalino llegan a una eficiencia de conversión luz-electricidad de un 12-15 %, y en condiciones de laboratorio se alcanza el 24 % de rendimiento.

- *Silicio policristalino*

Las células de silicio policristalino son más baratas. Su eficiencia está alrededor de un 14 %, pero no supera el 18 %.

- *Arseniuro de galio (GaAs)*

Material semiconductor que permite alcanzar una eficiencia de un 25 - 30 %. Las principales ventajas de estas células respecto a las de silicio son un mayor rendimiento inicial, una menor degradación después de ser irradiadas, y un mejor coeficiente de temperatura. Por contra, pesan el doble que las de silicio. Se utilizan en la tecnología aeroespacial y requieren sistemas de concentración de la luz.

## Películas fotovoltaicas

Se configura como la tecnología del futuro por su bajo coste y porque se pueden incorporar en fachadas y otros materiales transparentes

- *Silicio amorfo*

Se utiliza en módulos semitransparentes y en productos de consumo, como relojes solares o calculadoras. A pesar de ser menos eficientes (7 - 9 %), han sido muy utilizadas en aplicaciones en el espacio por su ligereza. Tienen la ventaja que tanto el silicio como el hidrógeno son materiales abundantes y la deposición de materiales amorfos puede realizarse a baja temperatura e incluir en un sustrato de vidrio. Por contra, su rendimiento disminuye con la radiación solar directa.

- *Telurio de Cadmio (CdTe)*

Es el material policristalino de fabricación más fácil y su coste es bajo coste. Hace más de diez años que se fabrica para calculadoras solares. Los módulos comerciales (7.200 cm<sup>2</sup>) tienen una eficiencia de un 8,5 %, y en el laboratorio se ha llegado al 16 %. Sin embargo, tienen el inconveniente de trabajar con Cadmio, un metal considerado muy tóxico.

- *Diselenio de cobre e indio (CuInSe<sub>2</sub> o CIS)*

Film policristalino con el cual se ha alcanzado una eficiencia del 17,7 %, y del 10 % en módulos comerciales. Parece que son que mejor mantienen su eficiencia de producción con los años.

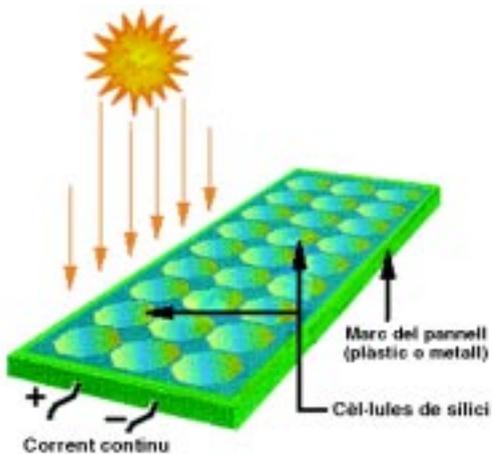


Vista de la CEFV de 2,2 kW de potencia de la fundación Terra conectada a la red eléctrica que ahorra 916,6 kg. de CO<sub>2</sub> anuales.

propiedad de poder conectar y modular las células favorece el diseño de una instalación según las necesidades.

### El fenómeno fotovoltaico a lo largo del año

Sobre cada metro cuadrado de tierra plana, la energía media anual que cae al



Esquema básico de un panel fotovoltaico para generar electricidad y contribuir a reducir las emisiones de gases invernadero hacia la atmósfera.

mediodía en nuestra latitud es de unos 5kWh. La media en 24 horas es de unos 0,2 kWh/m<sup>2</sup>. El problema es que el Sol recorre el firmamento terráqueo con una inclinación que varía a lo largo del día y de las estaciones del año. En una determinada latitud como la nuestra (42° N), la inclinación del Sol varía entre los 0° y los 20° sobre el horizonte en invierno, y los 0° y los 60° en verano. Las células solares trabajan con el máximo potencial cuando reciben los rayos

solares perpendicularmente. Así, en una instalación optimizada, el ángulo de los paneles debería poder adoptar una inclinación variable de unos 60° en invierno y de unos 20° en verano. Sin embargo, en las aplicaciones en las cuales el consumo de energía es más o menos constante, se toma un ángulo de referencia de unos 38°, y siempre orientando los paneles al Sur. Hay tablas que nos dan el ángulo ideal para cada estación del año. De todas formas, los mecanismos de seguimiento estacional o diario pueden encarecer mucho una instalación y el aumento en el rendimiento no compensa. Por eso, habitualmente se adopta una inclinación media fija.

### Razones para escoger la energía fotovoltaica (FV)

- Simplicidad. Los sistemas FV generan electricidad directamente de la luz del Sol. Se pueden adquirir como si fueran un kit y, si es para conexión a la red, sólo requieren un mínimo mantenimiento. Si se trata de sistemas autónomos, con baterías, éstas

pueden tener también una larga duración si desde buen principio se adquiere un equipo desulfatador.

- Modularidad. Un sistema fotovoltaico siempre se puede ampliar con nuevos elementos mientras se cumpla con los parámetros básicos.

- Duración. Los módulos FV se fabrican de manera que puedan resistir todo tipo de fenómenos meteorológicos adversos. Se garantizan por periodos de 20 a 40 años.

- No contaminante. Como otros sistemas de energía renovable, la FV no genera gases tóxicos ni produce residuos.

- Seguridad. Los sistemas FV no son inflamables y no atraen los rayos. Los inversores funcionan con chips que los hacen muy fiables.

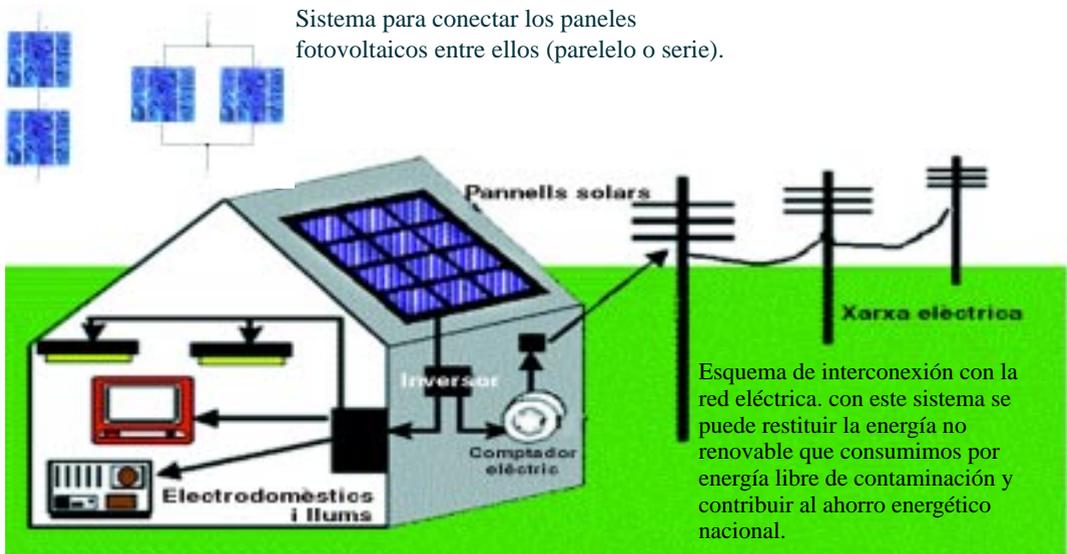
### Diseño de un sistema fotovoltaico

La corriente eléctrica generada por las placas solares es siempre continua a una tensión nominal de 12 Voltios. Cada panel tiene sus propias características. En general se fabrican para dar una potencia máxima conocida como Watt pico (Wp), que es la correspondiente a la

máxima radiación solar. En estos momentos se comercializan paneles solares de uso doméstico de 40 Wp hasta 130 Wp.

Los paneles se pueden conectar en serie, uniendo los polos de signo contrario, o en paralelo, uniendo los polos de un mismo signo. En ambos casos la potencia será siempre la misma, pero variará la tensión y la intensidad. En paralelo, se conserva la tensión de una placa, pero la intensidad es el producto de la intensidad de un panel por el número de paneles que se conectan; mientras que en serie, se mantiene la intensidad de corriente pero la tensión aumenta proporcionalmente al número de paneles. Combinando conexiones en serie y en paralelo se obtiene la tensión o intensidad más adecuada para cada aplicación.

Uno de los aspectos clave para determinar la potencia de una instalación fotovoltaica es minimizar el gasto energético. En el caso de una vivienda particular, es necesario valorar muy bien el número de aparatos eléctricos que utilizamos, la potencia de consumo y las horas de utilización. Sobre decir que, dado que se trata de una fuente de energía poco eficiente, es necesario optimizar al máximo el ahorro energético. Así, los materiales constructores



son importantes a fin de conseguir un buen aislamiento térmico y, al mismo tiempo, la máxima reflectancia para minimizar la iluminación artificial.

Recordemos que la capacidad eléctrica viene determinada por los Wh (Vatios por hora) que consume cada aparato (resultado de multiplicar el voltaje por la intensidad y el número de horas). Para hacer funcionar con electricidad solar muchos de los electrodomésticos debe transformarse la corriente continua que sale de las placas en alterna con un aparato que se llama inversor, convertidor u ondulator, la potencia del cual dependerá de la dimensión del campo fotovoltaico. Este transformador tiene la función de convertir la energía eléctrica continua de 12, 24, 36 o 48 V que llega de las placas, en alterna de 220 V y con la misma frecuencia que la de la red, con el fin de adaptarse a las fluctuaciones del suministro eléctrico convencional. En este trabajo de

transformación el inversor pierde entre un 10 y un 20 % de eficiencia en forma de calor. Para las instalaciones de tipo autosuficiente equipadas con baterías hace falta disponer de un aparato llamado regulador de carga y descarga, que controlan que las baterías no se queden sin carga ni se sobrecarguen.

### **Conexión fotovoltaica a la red eléctrica (Net metering)**

La inyección de energía fotovoltaica a la red eléctrica es una forma de ahorro energético y, al mismo tiempo, una opción personal o institucional para contribuir a la reducción de las emisiones de carbono. La instalación de una central de energía fotovoltaica (CEFV) permite restituir el consumo de energía eléctrica procedente de combustibles fósiles o nucleares con energía renovable limpia. El interés sociológico de una CEFV radica en el hecho de que genera energía durante las horas del día

### **Pasos legales a seguir para instalarse una CEFV**

1. Ponerse en contacto con una empresa acreditada para que elabore un proyecto y un presupuesto adaptado a nuestras necesidades.
2. Obtener una licencia municipal de instalación menor. Algunos ayuntamientos subvencionan esta cuota, que es del 0,275 % de la inversión. Si no es así, puede solicitarse la exención por contribuir a una mejora colectiva.
3. Solicitar subvenciones a los organismos locales, regionales o autonómicos cuando existan.
4. Solicitar la inscripción en el Régimen Especial de Producción Eléctrica (REPE) en el departamento competente en temas de energía correspondiente a la Comunidad Autónoma (Departament d'Indústria, Comerç i Turisme de la Generalitat, en el caso de Cataluña).
5. Una vez autorizada la instalación, la compañía eléctrica suministradora de la zona tiene la obligación de aceptar un contrato con el usuario por inyección en la red de corriente en monofásico (igual como la que distribuye la compañía a sus clientes domésticos). En el contrato se establecerá el punto de conexión y el régimen de facturación. Por eso, es necesario disponer de un contador estándar, además del de consumo, para medir la energía inyectada.
6. Inspección final del departamento de energía correspondiente a la Comunidad Autónoma, y puesta en marcha.
7. Inscribirse definitivamente en el REPE.

El contrato, incluso para una vivienda particular, obliga a emitir facturas con IVA y, por lo tanto, darse de alta en el IAE. Aunque el Ayuntamiento lo acepte, el usuario cometería una ilegalidad al realizar una actividad industrial en un terreno residencial. En definitiva, la actual legislación es incoherente y desincentivadora.

en las que se produce una mayor demanda energética.

Para los hogares, comunidades de vecinos o empresas, la instalación de una CEFV conectada a la red eléctrica representa un ahorro económico en la facturación eléctrica. Por otro lado, el Real Decreto 2818/1998 de 23 de diciembre publicado en el BOE el 30 de diciembre, establece un incentivo económico de unas 66 ptas., para los kWh generados con instalaciones fotovoltaicas de menos de 5 kW de potencia, es decir, de tipo doméstico (la potencia media instalada en una vivienda convencional es de unos 4,4 kW). Esta ayuda económica, a pesar de multiplicar por cuatro el precio al que compramos el kWh, no es económicamente rentable como negocio. Está pensada para facilitar la amortización del elevado coste de una CEFV, que en la actualidad es de un millón o millón y medio por kW instalado. Con el número de horas de Sol a nuestra latitud (unas 1.600 horas anuales) este incentivo económico permite una amortización teórica de una instalación de hasta 5kW entre 10 y 5 años dependiendo del consumo eléctrico convencional. Por eso, la conexión a la red eléctrica de una CEFV requiere tomar previamente todo tipo de medidas de ahorro energético como aislamientos, aparatos de bajo

consumo, etc.

Actualmente, instalarse una CEFV de unos 2,5 kW en el tejado no requiere más de 18m<sup>2</sup> de superficie en paneles solares y puede permitir generar con energía renovable unos 4000 kWh anuales, es decir, restablecer el consumo medio de una familia por un coste no superior al de un coche familiar de gama media. Para una comunidad de vecinos de un edificio, permite aprovechar un espacio colectivo como es el tejado para reducir la factura de electricidad del ascensor y de la iluminación de la escalera (unos de los principales gastos de toda la comunidad, conjuntamente con la limpieza).

Cuando hablamos de conciencia ecológica, la conexión fotovoltaica a la red eléctrica es la mejor opción disponible para convertirla en un gesto real y efectivo a favor del medio ambiente. Si todos aprovecháramos el tejado propio o comunitario para instalar una CEFV podríamos reducir las emisiones de carbono de acuerdo con el Protocolo de Kyoto e incluso nos podríamos plantear cerrar una central nuclear. Por eso, cuando el ecologismo nacionalcatólico (mayoritario en España) plantea campañas contra las centrales nucleares, y no apuesta por la instalación masiva de CEFV domésticas, hace pura

### Como se inyecta electricidad en la red?

El inversor funciona de forma totalmente automática. Al hacerse de día, el inversor mide la radiación solar y la potencia disponible en el generador fotovoltaico. Tan pronto como se alcanza el nivel de mínimo funcionamiento, el inversor se pone en marcha y empieza a generar corriente. En cualquier situación anormal, como un corte de corriente de la red o subidas y bajadas de tensión fuera del nivel admisible, el inversor se para y espera a que se restablezca la normalidad para arrancar otra vez. Cuando oscurece y la energía del campo fotovoltaico es débil, se para y desconecta el transformador de salida para permanecer en un nivel de consumo prácticamente nulo.

El sincronismo con la onda de la red lo regula un sistema de modulación de amplitud de pulsaciones, controlado por un microprocesador que hace un seguimiento constante de los parámetros de la red y hace las correlaciones necesarias cada 10 milisegundos. De esta manera no genera una onda modulada, sino que se adapta a la onda de la red, hecho que confiere una elevada seguridad para la línea eléctrica general.

apología apócrifa.

La fundación Terra ha instalado la primera CEFV conectada a la red acogiéndose al RD 2818/1998 en el tejado de su sede. Se trata de una central de 2,5 kW que permite el ahorro de 916,6 kg. de CO<sub>2</sub> anuales. Para legalizar la instalación hace falta seguir una tramitación administrativa que detallamos a continuación. Actualmente, varios ayuntamientos, entre ellos el de Barcelona, subvencionan este tipo de instalaciones. Sin embargo, lo más razonable sería dar un mayor incentivo monetario por kWh generado. Este es el caso de la Generalitat Valenciana que paga unas 500 ptas. por kWh generado con energía fotovoltaica.

### **Electrificación fotovoltaica rural**

La energía fotovoltaica ha sido clave para equipar con electricidad las viviendas aisladas en el medio rural, alejadas de la red eléctrica. En estos casos, la energía fotovoltaica incluso puede ser económicamente competitiva. En Cataluña, la electrificación fotovoltaica rural ha sido promovida sobretudo por la empresa pionera SEBA (Serveis Energètics Bàsics Autònoms) que, además de hacer la instalación aprovechando las ayudas económicas de programas estatales y europeos, facilita el mantenimiento con una cuota mensual de servicio.



Central fotovoltaica de 1 MW de potencia en Toledo, construida por BP SOLAR España.

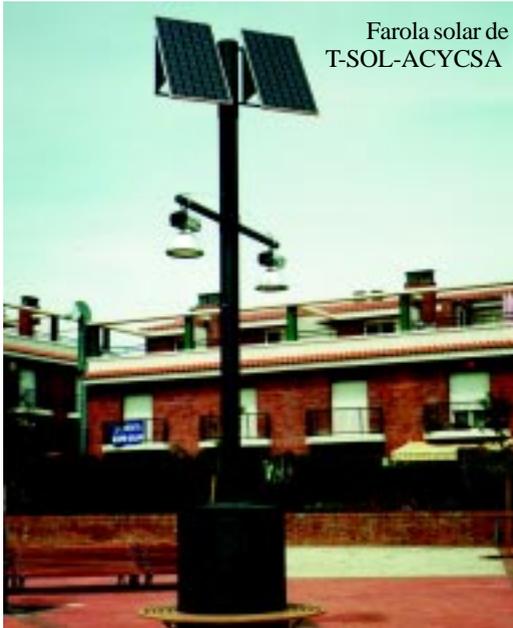
La característica básica de una instalación fotovoltaica rural es la del sistema de almacenamiento de la energía de los acumuladores estacionarios. Este tipo de baterías tienen la particularidad de estar diseñadas para ceder lentamente la energía acumulada. El estado de carga de una batería es proporcional a la densidad del electrolito de acuerdo con las características de fabricación. Sin duda, los acumuladores son uno de los elementos más caros de las instalaciones autosuficientes y además requieren un cuidadoso mantenimiento. En cualquier instalación de este tipo es necesario el regulador, el aparato que controla la carga y la descarga de las baterías receptoras de la energía fotovoltaica y que la ceden a los diferentes aparatos del hogar después de pasar por el inversor.

La clave para extraer todo el rendimiento de las instalaciones fotovoltaicas rurales radica en la elección de los aparatos electrodomésticos de máxima eficiencia. Una nevera de alta eficiencia, bombillas fluorescentes compactas, lavadoras bitérmicas, etc. son instrumentos básicos para que un sistema autosuficiente fotovoltaico rinda al máximo.

Un detalle técnico básico, cuando se utilizan las habituales baterías de plomo y ácido sulfúrico, es evitar la llamada sulfatación, es decir, la deposición de sulfato de plomo encima del electrolito ya que puede cortocircuitar la batería. Actualmente, hay en el mercado unos aparatos que generan impulsos electrónicos que impiden la sulfatación y alargan la vida de las baterías.

### **Otras aplicaciones de la energía fotovoltaica**

Los sistemas de energía fotovoltaica se pueden considerar como una alternativa rentable para trabajos energéticos en el rango



que el riego agrícola se hace necesario precisamente cuando no llueve ni está nublado. También puede ser muy útil para llenar abrevaderos para el ganado o mantener la lámina de agua de un espacio recreativo o natural. Un buen ejemplo es el de las marismas de Molins de Rei (en Barcelona) promovido por la fundación Terra con la tecnología de T-SOL/ACYCSA que permite bombear unos 500.000 litros de agua al día.

#### *Señalización y comunicaciones*

Los paneles fotovoltaicos permiten alimentar señales luminosas como boyas marinas, faros costeros, advertencias luminosas en curvas peligrosas de carretera, paneles informativos, sistemas de alarma y emergencia, etc. Igualmente, son una alternativa para alimentar repetidores de telecomunicaciones y telefonía móvil.

de potencia entre 1 y 100 kW. A continuación de mencionan algunas de las aplicaciones más habituales.

#### *El bombeo de agua*

Sin duda se trata de una de las mejores aplicaciones de la energía fotovoltaica, dado

#### *Iluminación pública*

El alumbramiento nocturno de las ciudades constituye un gasto económico muy importante para los municipios. Las farolas fotovoltaicas son una alternativa viable para



Las marismas de Molins de Rei con casi 8kW fotovoltaicos obtiene agua del río por bombeo solar. Un sofisticado sistema informático permite controlar remotamente todo su funcionamiento.

las calles y plazas, áreas de servicio de autopistas, y túneles.

### *Generación eléctrica*

Generar electricidad con la luz del Sol es la mejor opción tecnológica que tenemos al alcance para ahorrar energía y reducir el consumo de energía no renovable en un país soleado como el nuestro. Proveer energía eléctrica a la red para evitar emisiones tóxicas a la atmósfera debería ser una obligación moral por respeto a las futuras generaciones. La integración de células fotovoltaicas en el diseño arquitectónico de edificios permite convertir en elementos energéticamente activos fachadas y tejados. En Cataluña tenemos un ejemplo paradigmático en la biblioteca pública de Mataró, proyecto realizado con tecnología de la empresa *Teulades i Façanes Multifuncionals* (TFM) (Tejados y Fachadas Multifuncionales) que permite generar unos 80 MWh al año. Pero tampoco podemos olvidar que en pueblos o áreas residenciales con una utilización temporal debería ser una forma de suministro obligada.

En el futuro, los coches deberán ser mayoritariamente bimodales o eléctricos. Una alternativa para recargar las baterías serán las CEFV integradas en los tejados de los aparcamientos públicos. De esta manera se optimiza el espacio urbano y una energía renovable permite evitar la contaminación del tráfico.



El Ayuntamiento de Sacramento (en EEUU) ha convertido el ombráculo del aparcamiento del aeropuerto en una CEFV que genera 130 kW de electricidad. Si en el aeropuerto de Barcelona se convirtieran todos los tejados de su aparcamiento en una CEFV se podrían obtener unos 3000 MWh al año.

En la Puebla de Montalbán (Toledo) hay una CEFV de 1 MW de potencia que complementa la generación eléctrica del embalse de Castejón en verano, cuando la producción hidroeléctrica está limitada al poco nivel de agua.

### **El coste de la tecnología solar**

Actualmente, el coste por kWh fotovoltaico se sitúa en unas 1000 ptas. por kW de potencia instalado. Sin embargo, si tenemos en cuenta que una instalación fotovoltaica puede tener una duración mínima de 20 años, en realidad, para una instalación situada en la latitud de las 1600 horas de luz solar anuales, el kWh sería de 31,25 ptas.

La reducción de los precios de esta tecnología ha sido espectacular en los últimos años, concretamente de un 97 %. Si se incrementa su utilización será más asequible y, en menos de una década, cuando el coste por kWh fotovoltaico alcance las 500-600 ptas./kW, la energía fotovoltaica será competitiva.

Mientras tanto, a pesar de no ser rentable como negocio, una CEFV supone un gasto asumible por una familia de clase media si tenemos en cuenta que cada año se venden más de 250.000 coches nuevos con un valor medio de dos millones de pesetas. Sólo es necesario que los bancos acepten que es más seguro dar un préstamo para instalar una CEFV en una casa, que para adquirir un automóvil. Una CEFV genera energía comercializable, mientras que un coche es un pozo de gastos sin fondo. La industria fotovoltaica es una de las más prometedoras del futuro.

## La energía en el siglo XXI

La historia de la humanidad está ligada al uso de la energía y a la lucha por su control. La explotación de la madera convirtió los bosques en un recurso estratégico hasta el

siglo XVIII cuando se generalizó el uso del carbón. En 1921 en EEUU el petróleo ya había desplazado al carbón; y en 1930 el 80 % de las viviendas del país ya disponían de electricidad.

La utilización de la energía solar

### Las células de hidrógeno

El hidrógeno es uno de los elementos más simples de la naturaleza. Un átomo de hidrógeno contiene un protón y un electrón. Además, es el gas más abundante en el universo. Ahora bien, en nuestro planeta no se encuentra como gas sino combinado con otros elementos formando compuestos como el agua, el metano, los combustibles fósiles, etc. Así, a pesar de no existir como gas, lo podemos obtener aislándolo de esos compuestos. Ello requiere energía, pero por otro lado, el hidrógeno tiene un alto poder térmico, su combustión no contamina y se puede almacenar en forma de electricidad.

Pero a pesar de las ventajas, la tecnología del hidrógeno sigue siendo cara y aún está poco desarrollada. Los sistemas básicos de obtención de hidrógeno gas son, entre otros, la ebullición reformada del gas natural ( $\text{CH}_4$ ), la electrólisis del agua, la fotoelectrólisis, la fotosíntesis microbiana y la gasificación de la materia orgánica. Se puede almacenar como gas comprimido, hidrógeno líquido o híbridos químicos (esencialmente, con determinados metales).

El hidrógeno añadido a los combustibles fósiles reduce la generación de óxidos de nitrógeno. Un 5 % añadido a la gasolina permite disminuir en un 30 y 40 % la contaminación en la atmósfera. Un vehículo que sólo quemase hidrógeno como combustible, el único residuo que expulsaría sería prácticamente agua. Sin embargo, una de las formas más prometedoras del hidrógeno son las células combustibles o las baterías de hidrógeno, que convertirían un combustible como el hidrógeno, el metano o otros, en corriente eléctrica continua mediante un proceso electroquímico.

Una célula combustible propicia una reacción entre el hidrógeno y el oxígeno con presencia de un catalizador. Un de los más exitosos es la membrana de intercambio de protones (PEM). Esta membrana deja pasar los protones de hidrógeno y expulsa las moléculas de  $\text{H}_2$ . Al otro lado de la membrana, el oxígeno se combina con las moléculas de  $\text{H}_2$  y forma agua y se recogen electrones que crean un potencial negativo, en definitiva, energía eléctrica.

El interés de estas células de combustible de hidrógeno es que mediante la energía eléctrica producida por la luz del Sol se puede generar hidrógeno gas para la electrólisis del agua. El hidrógeno gas puede ser utilizado para volver a crear corriente eléctrica a través de una célula de combustible o bien ser quemado como cualquier gas para cocinar, para la calefacción, o para poner en marcha un motor. La eficiencia de estas células es actualmente de un 70 % (muy superior a la de los motores de combustión interna que no supera el 30 %) y por eso tienen un futuro muy importante.

Sin duda, se trata de la forma más segura de almacenar y utilizar la energía de este gas. En contra, sólo hay el hecho de que de momento es una tecnología todavía demasiado cara.

Las células combustible de hidrógeno del tipo PEM han conseguido introducirse ya en el sector de la automoción. Un atento diseño de la célula ha permitido reducir de 21 a 6 kg. el peso de cada célula por 1 kW generado. En estos momentos, hay motores de coches como el del modelo NECAR II de Daimler-Benz con una potencia de 50 kW que permite alcanzar una velocidad de 110 km/h y una autonomía de 250 km. con los tanques de fibra de carbono de hidrógeno presurizado llenos. Una de las innovaciones tecnológicas ha sido la compresión del hidrógeno obtenido de la electrólisis y evitar que éste quede perfectamente almacenado fuera de la célula combustible.

El uso de hidrógeno completa el ciclo de la energía en la medida que la combinación del hidrógeno y el oxígeno genera agua, y algunos gases nitrogenados en pequeñas proporciones.

almacenada en los combustibles fósiles no tiene ni doscientos años, pero actualmente representa el 75 % del consumo de energía comercial. En este breve periodo de tiempo hemos podido constatar que el carbono que liberan estos combustibles altera el balance energético de la biosfera y provoca el calentamiento global de la atmósfera planetaria. La quema de combustibles fósiles ha provocado un aumento del 30 % en la concentración de dióxido de carbono que atrapa el calor solar.

Ciertamente, hay un punto de riesgo si

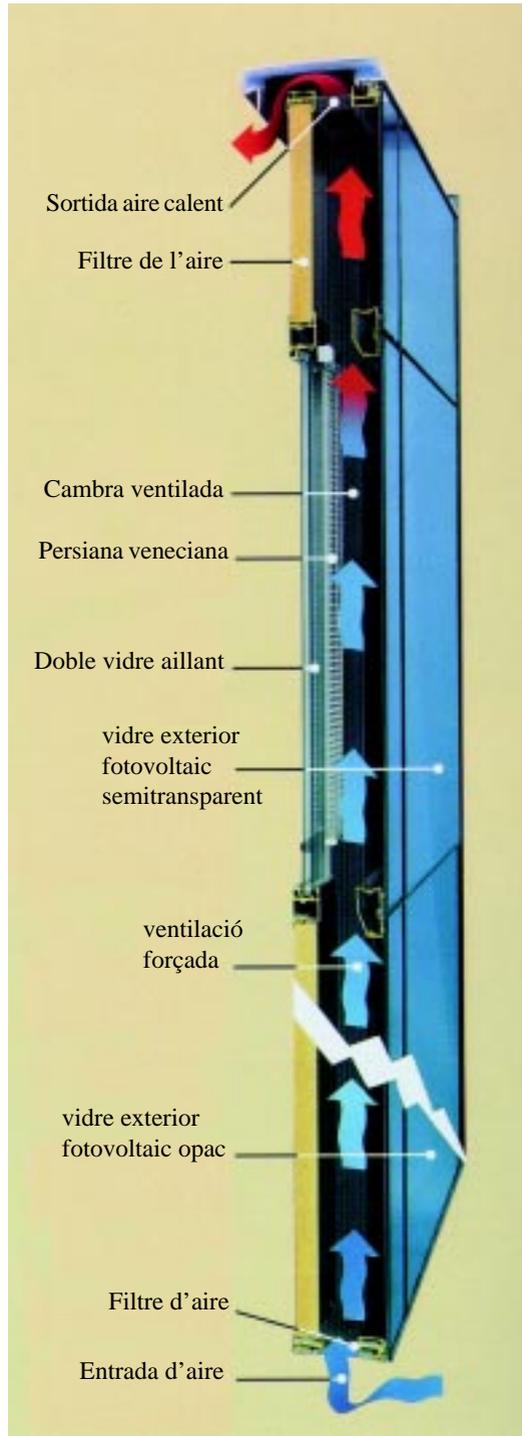


Relojes solares, sin pilas; disponen de un pequeño acumulador para funcionar durante tres meses sin recibir luz natural.

continuamos quemando los combustibles fósiles. Para estabilizar las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> a unos niveles no problemáticos hará falta reducir entre un 60 y un 80 % las emisiones de carbono en relación con los niveles actuales.

Mucho antes que hayamos agotado las reservas de combustibles fósiles, el impacto ambiental de su uso en la naturaleza y la salud de las personas nos obligará a optar por un sistema energético más limpio.

El ritmo y la dirección de una transición en el ámbito energético no dependen solamente de los desarrollos tecnológicos, sino también de la forma como responden



Solución de muro cortina ventilado fotovoltaico desarrollado por TFM S.A.

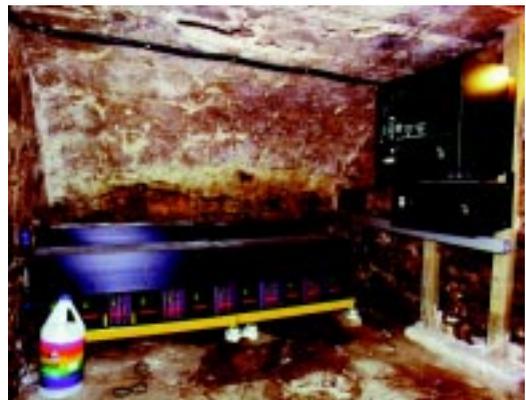
las industrias, los gobiernos y la sociedad. A principios de siglo, el hecho de que Churchill apostara por sustituir el carbón, combustible de los barcos de guerra, por petróleo, estimuló a todo el sector. Lo mismo que ya ha pasado con la decisión del gobierno del estado de California en 1992 de exigir vehículos con emisiones igual a cero. Sólo una medida como ésta permite, como vaticina el presidente de la empresa automovilística General Motors, que ningún fabricante de coches podrá prosperar en el siglo XXI únicamente basándose en los motores de combustión interna. El motor híbrido o eléctrico y las células de combustible pueden evolucionar muy rápidamente y sustituir el petróleo en muchas aplicaciones. Por ejemplo, el fabricante japonés Toyota ha empezado a comercializar este año 2000 en Europa un coche bimodal. Otros fabricantes se decantan por las células de hidrógeno. La empresa alemana BMW las instalará de serie en una de sus gamas.

Hoy, la quinta parte más rica de la humanidad consume el 58 % de la energía del mundo, mientras que la quinta parte más pobre no llega al 4 %. Sólo los EEUU, con un 5 % de la población mundial, consume el 25 %. La economía de los combustibles fósiles ha fomentado un uso abusivo de los bienes naturales, insostenible e inadmisibles. A pesar de que el futuro no es fácil de predecir, es evidente que se hace necesaria una futura economía energética más eficiente, descentralizada y basada en fuentes que no sean tóxicas para el entorno y la vida humana.

Los viejos y conocidos elementos, el Sol, el viento, el magma y el hidrógeno son los candidatos para poder realizar la llamada revolución de las energías renovables. La electrónica y la informática permiten controles que incrementan la eficiencia en el consumo y rentabilizan los sistemas basados en

fuentes renovables. Actualmente, las energías renovables proporcionan el 19 % del consumo de energía en el mundo. En el futuro, las tecnologías capaces de parar el cambio climático serán decisivas. Por otro lado, la naturaleza relativamente difundida de las fuentes de energía renovable puede contribuir a disminuir la conflictividad internacional y estimular la cooperación. La “descarbonización” del planeta puede ser un activo geopolítico en un futuro próximo.

Dentro de las posibilidades tecnológicas del mundo de las renovables, la energía solar fotovoltaica se implantará en el ámbito doméstico y la eólica lo hará como complemento de las explotaciones agrarias y financieras porque tiene un rendimiento más alto. El problema principal de las energías renovables es su carácter intermitente, sin embargo, este inconveniente ya lo resuelven las células de combustible, con las cuales se genera hidrógeno que se utiliza como combustible cuando no hay luz solar o viento. Por otro lado, en menos de 20 años, los paneles solares han disminuido de precio en un 80 % y hoy se fabrican células fotovoltaicas dentro de tejados, fachadas de vidrio, etc. Un incentivo gubernamental podría propiciar una reducción definitiva en



Equipo de baterías estacionarias, inversor y regulador de una instalación fotovoltaica autónoma hecha por SEBA.

los costes de las células fotovoltaicas y convertirlas en plenamente competitivas.

La investigación en semiconductores avanza hacia el desarrollo de la célula termofotovoltaica, capaz de producir electricidad a partir del calor residual de la industria. Con este panorama tecnológico, sólo haría falta que el llamado “rompedor de agua” alimentado con el Sol salte definitivamente a la palestra y permita una alta eficiencia en la conversión de energía solar en hidrógeno.

Actualmente, la energía solar fotovoltaica es la única que en el ámbito doméstico nos permite restituir el consumo energético no renovable por renovable y hacer posible un ahorro equivalente en emisiones tóxicas a la atmósfera. Por cada kWh fotovoltaico que producimos evitamos emitir unos 235 g de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Por otro lado, la energía solar fotovoltaica se produce en las horas de más demanda energética. Por esta razón podría ser la mejor fuente para dar cobertura de las puntas de demanda energética que se producen en estas horas. Por otro lado, la energía fotovoltaica nos enseña a perseguir el mínimo consumo y valorar la



La tecnología aeroespacial ha sido clave en el desarrollo de la energía fotovoltaica.

eficiencia de los instrumentos doméstico, aunque sea un poco más caro, como inversión de futuro.

Los paneles solares visualizan la idea de que la energía es un recurso que se debe valorar, y usar para satisfacer nuestras necesidades respetando la realidad del mundo natural y evitando el tipo de catástrofes ecológicas que han vivido la mayor parte de las civilizaciones cuando han abusado de sus legados ambientales. Una política energética sensata para el siglo XXI debe basarse en el hecho de sustituir el derroche por la eficiencia y el ahorro como ética del próximo paradigma sociológico. Cuánto más pronto pongamos punto y final a la voraz era de los hidrocarburos para pasar a una civilización basada en el consumo eficiente de energías renovables complementadas con hidrógeno, más pronto dejaremos de agotar el patrimonio natural de las generaciones futuras y comenzaremos a invertir en un planeta habitable.

## El cambio energético en Europa

Desde hace unos años se está discutiendo el abandono paulatino de la producción energética a partir de combustibles fósiles y nucleares a favor de las energías renovables (solar, eólica e hidráulica entre otras). El argumento que justifica el cambio de estrategia es evidente: la creciente degradación ambiental de la biosfera, y en especial la amenaza cada vez más sucinta del cambio climático debido a la acumulación de gases invernadero en la atmósfera.

Las energías renovables continúan siendo minoritarias, tanto en nuestro país como en el resto de Europa, y continuarán en la misma situación si no hay un cambio drástico en el pensamiento de los políticos y los empresarios energéticos. Si hacemos una pequeña retrospectiva histórica, el desarrollo de las grandes compañías eléctricas en todo

el mundo ha ido estrechamente ligado a los gobiernos estatales y a las subvenciones millonarias que han recibido a lo largo de décadas para poder desarrollar las centrales productoras y establecer las redes de distribución. Todo esto sólo ha sido posible gracias al contribuyente que, con sus impuestos, ha creado una de las infraestructuras más complejas y a la vez más necesarias en nuestros días. Ahora bien, una vez amortizada la inversión hecha por nosotros, se ha procedido a la privatización de las compañías eléctricas.

Es a partir de aquí que empieza a perfilarse la problemática de las energías renovables y alternativas. A causa de la intransigencia y de los intereses creados, que mueven tanto a los gobiernos como a las grandes empresas (en nuestro caso, las compañías eléctricas), hoy día se están haciendo todos los esfuerzos posibles para no dar pie al un desarrollo justo de una forma de energía que es parte de la solución ambiental del planeta. A pesar de que un 80 % de la población europea está a favor de fomentar las iniciativas de expansión de las energías renovables, repartiendo los gastos adicionales entre todos los usuarios, las compañías eléctricas se oponen (el coste adicional que representaría para cada domicilio conectado a la red sería mínimo, y en el caso que los consumidores lo combinaran con una estrategia global de ahorro de energía eléctrica, no habría un sobrecoste).

En Europa se ha iniciado la liberalización de los mercados energéticos, lo cual significa que un habitante de Cataluña, en teoría, podría consumir electricidad producida en Escandinavia. Para que eso sea posible, la empresa productora de electricidad en Escandinavia debería conducir la corriente desde la zona de origen hasta Cataluña, pagando los correspondientes derechos de utilización de las redes eléctricas de quizás 15 o 20 competidores. el ejemplo puede que

resulte un poco absurdo, pero si lo ponemos en relación con los productores de energías renovables, veremos que no lo es en absoluto.

La discusión sobre la libre competencia en temas de electricidad puede afectar en gran medida a los productores privados de energías renovables. Si, además de tener un coste superior, deben pagar derechos de utilización de las redes privadas, la utilización de esta forma de energía no llegará nunca a desarrollarse, mientras que las energías fósiles y nuclear no se agoten y se continúe sin interiorizar sus costes ambientales y sociales. En un estudio realizado en 1992 por el Instituto Fraunhofer ISI i PROGNOS por encargo del Ministerio de Economía Alemán, los gastos externos a interiorizar son de 59,5 ptas. para los combustibles fósiles , y de 306 ptas. en el caso de la energía atómica. Sólo cuando estas formas obsoletas de producción energética interioricen el coste de reparar los daños ambientales y sociales que provocan, será justa libre competencia en el mercado energético. Esto demuestra que las energías renovables no sólo son competitivas, sino que deberían fomentarse notablemente como alternativa viable para el futuro energético de Europa y del mundo.

Una de las estrategias a adoptar es la remuneración de la electricidad procedente de centrales energéticas fotovoltaicas (CEFV) con cobertura total de los gastos del explotador. La idea fue introducida en 1990 en la ley de alimentación de la red eléctrica de electricidad procedente de centrales



Coche solar en la carrera World Solar Challenge

energéticas renovables de la República federal de Alemania, pero no es vinculante, sino voluntaria para las compañías eléctricas. Por ley, sólo deben retribuir el 90 % del precio de mercado del kWh (13,6 ptas.) a los explotadores de CEFV o de centrales eólicas, pero voluntariamente pueden decidir so cubren todos los gastos de los “pioneros” de la energía limpia.

Hoy en día hay 20 explotadores de red que cubren los gastos de explotadores privados con las condiciones siguientes: 20 años de contrato de alimentación total en la red, con una remuneración de 170 ptas. / kWh por CEFV, conectadas antes del 31.12.1996. Para las que se conectan más tarde se establecen 160 ptas. / kWh. Estas cantidades se pagan para CEFV con una producción de hasta 10 kW. La cuestión es: quien paga el sobrecoste de esta electricidad de energía renovable? Como también pasó con las centrales térmicas de toda Europa con la nueva legislación ambiental, los costes de las instalaciones para la limpieza de los gases de escape revierten en el consumidor, ya que se internalizan en la factura final de cada mes. Lo mismo pasa con todas las mejoras para la seguridad en las centrales nucleares. Así, los gastos adicionales recaen en los consumidores. Ahora bien, con las energías renovables hay una diferencia sustancial respecto a lo que pasa con las energías convencionales: en el primer caso hablamos de un tipo de generación energética sin agravios ambientales, o sea, que revierte a favor de la sociedad y el entorno, en el momento actual y en el de las generaciones venideras.

Además, en este caso el Estado español ha sido más progresista, aprobando el Real Decreto 2818/1998 de 23 de diciembre, donde establece un incentivo económico de 66 ptas. por cada kWh generado con instalaciones fotovoltaicas de menos de 5 kWp de potencia. Éste es un paso adelante

en el fomento de las energías renovables que, además, no se basa en el hecho de dar subvenciones a fondo perdido (sin saber si después habrá un mantenimiento adecuado de las CEFV), sino que ,a causa de la necesidad de producir energía, también se asegura un cuidado ejemplar de las instalaciones.

En definitiva, se puede afirmar que el cambio energético en Europa acaba de comenzar tímidamente con una estrategia nueva -la movilización de capital de riesgo privado en la construcción de centrales energéticas fotovoltaicas-. Al mismo tiempo, se está creando un incentivo para mejorar y hacer más económicas las CEFV. La cobertura total de los gastos del explotador de CEFV se convierte así en un programa de fomento de la inversión muy efectivo, ya que crea nuevos puestos de trabajo en el campo de la instalación, distribución y producción de los componentes necesarios para la construcción de CEFV.

Vamos por el buen camino, pero todavía queda mucho por recorrer.

### Para a más información

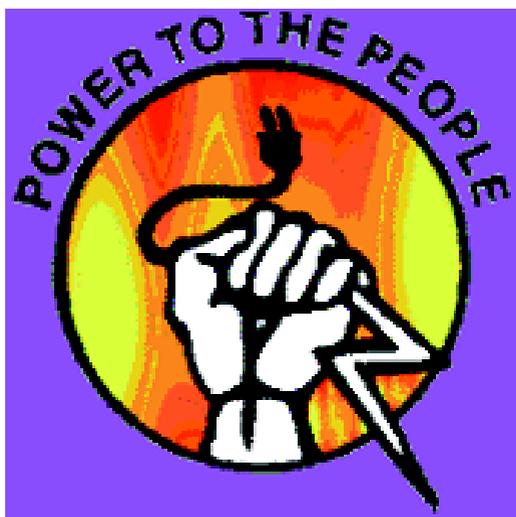
- Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE). Paseo de la Castellana, 95 planta 21. tel: 91 456 49 00.
- ATERSA (fabricante paneles solares). Fernando Poó, 6. 28045 Madrid. Tel: 91 474 72 11.
- ISOFOTON (fabricante paneles solares). Montalbán, 9. 28014 Madrid. Tel: 91 531 26 52.
- Elektron (venta por correo de paneles solares). Calle Farigola, 20. 08023 Barcelona. Tel: 93 210 83 09; Fax: 93 219 01 07
- BP Solar. P.E. La Marina Isla de Hierro, 5. 28700 San Sebastián de los Reyes. Tel: 91 658 65 65.
- JHROerden y Cia S.A. (distribuidor aparatos fotovoltaicos) Av. Alberto Alcocer, 38 7è. 28016 Madrid. Tel: 91 458 6046

*La energía solar fotovoltaica es un tema apasionante de aplicación de conceptos de astronomía, física y química.*

*Cualquier sistema de generación energética está relacionado con el consumo.*

*Para que algún día las futuras generaciones se apunten a las energías renovables la escuela debería predicar con el ejemplo.*

## El poder del Sol



### Kits para la energía solar

El efecto fotovoltaico y la misma energía térmica del Sol son fenómenos sorprendentes y de grandes posibilidades, con los que podemos experimentar a pequeña escala. Esta es la primera propuesta que os queremos hacer, y por ello, a pesar de que hay otras opciones, os animamos a que adquirir el kit educativo *Exciting experiments in Solar Power* elaborado por el equipo de Tree of Knowledge que detalla 153 experimentos sobre la energía solar tanto térmica como fotovoltaica (distribuido por Elektron en Cataluña). El kit incluye un reflector parabólico, un galvanómetro, una célula fotovoltaica y un motor eléctrico. La caja de experimentos contiene una guía detallada en castellano de todas las actividades que propone. Sin duda se trata de un material pedagógico muy rentable por el gran abanico de aplicaciones que incluye en distintas áreas de conocimiento. Electricidad, astronomía, geografía, física, cocina, etc. son algunas de

las posibilidades de esta interesante propuesta.

Si queréis profundizar en el estudio de las células fotovoltaicas podéis adquirir células de demostración de 1 V con 300 o 500 mA y un pequeño motor eléctrico aparte. Con estos dos materiales podemos preparar nuestras propias aplicaciones caseras.

Para una actividad de manualidades existe un kit para montar móviles que funcionaran con células fotovoltaicas. El movimiento que nos puede ofrecer la luz del Sol puede ser un elemento artístico a considerar.

Con materiales de este tipo podemos formularnos muchas preguntas sobre la naturaleza de la luz, la energía o el impacto de la actividad humana en el planeta. Estos materiales se pueden adquirir también a través de Internet: <http://www.elektron.org>.

Seguro que si funciona como experimento pensaréis en adoptar una decisión más valiente para aplicarla en nuestra vida cotidiana.

## Poder solar para las escuelas

La escuela, como espacio de formación de las generaciones futuras, puede desempeñar la tarea de demostración. Pero la verdad es que en pocas escuelas importa mucho el consumo energético. Alguna vez se os ha

ocurrido hacer un seguimiento del contador eléctrico y establecer el derroche energético al cabo del año?

Creemos que la mejor manera de fijarse en el consumo de energía es produciendo energía para ganar dinero (aunque sea de forma simbólica). Por eso, a continuación os ofrecemos algunos datos para animaros a instalar en la escuela una pequeña CEFV de aproximadamente 1kW de potencia.

Esta simple instalación permitiría a los alumnos tener contacto con una tecnología que será clave en su vida adulta. Además, disponer de un contador de electricidad conectado a la red es la herramienta más visual y activa para comprender que es necesario ahorrar. Este puede ser el primer paso. A continuación, sería bueno mirar qué podemos hacer para lograr que la iluminación del centro sea más eficiente: instalar balastos electrónicos en los fluorescentes, sistemas de regulación de acuerdo con la luz natural, etc.

Dado que la escuela no es de los alumnos y que cualquier intervención requiere una autorización gubernamental, o de los propietarios, debe plantearse un buen sistema de gestión de la instalación fotovoltaica: como por ejemplo una concesión o explotación energética de la asociación de padres (APA) gestionada por los docentes y

### Un presupuesto aproximado puede ser el siguiente:

- 9 paneles de 110 Wp, a 125.000 ptas/unidad.
- 1 inversor de 1.000 W, por 300.000 ptas.
- 1 contador, soportes, panel de control, cableado e instalación, por 500.000 ptas.

TOTAL: 1.925.000

Ahora bien, existen subvenciones de hasta un 30 %, con lo que la CEFV nos podría salir por menos de 1.500.000 ptas.

### Calcular la eficiencia de una célula fotovoltaica

- Poner una célula fotovoltaica en un circuito y medir la intensidad (vatios) que genera.
- Medir la superficie de la célula en m<sup>2</sup>.
- Calcular la potencia por m<sup>2</sup>. (PS)
- Calcular la eficiencia con la fórmula:

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{PS \times 100}{P1}$$

La irradiación solar (P1) puede ser de 1000 en un día claro de verano, 900 en un día claro de otoño, y 700 en un día claro de invierno. (La eficiencia de las células comerciales oscila entre un 5 i un 20%).

# EDUCATIONAL SOLAR ENERGY KIT

## USES

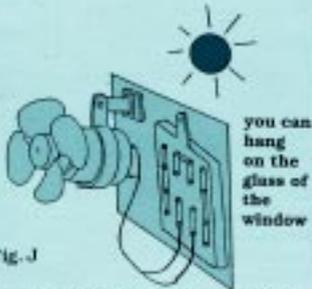


Fig. J

you can hang on the glass of the window  
position fan as per figs. H, I and J

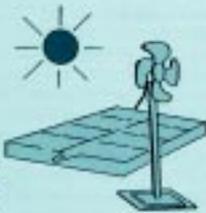


Fig. I



Fig. H

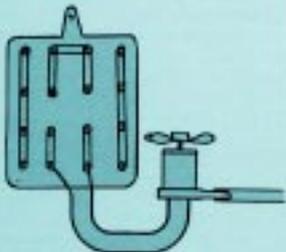


Fig. G connect the wires to the motor

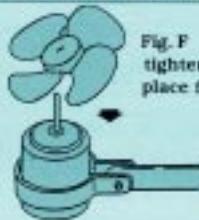
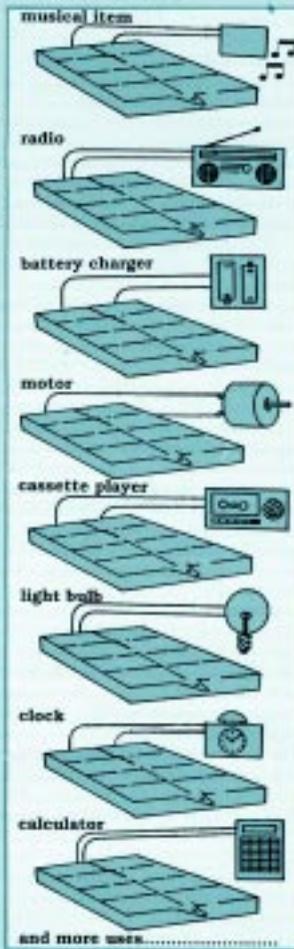


Fig. F  
tighten screw and  
place fan on spindle

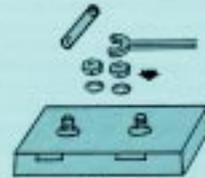


Fig. A undo the screws



Fig. B insert the solar cells in the correct circuit format in the plastic tray

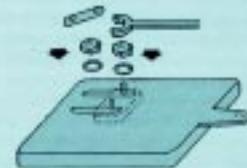


Fig. C position the copper links in the correct circuit format and tighten screws



Fig. D connect the wires

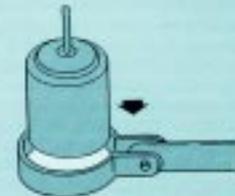


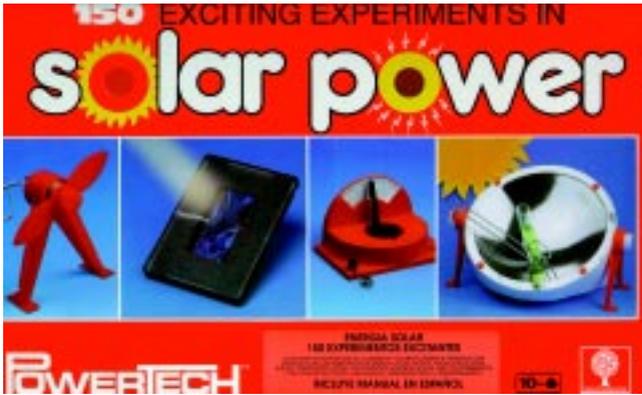
Fig. E insert the motor into the plastic holder

## Pequeños experimentos con células fotovoltaicas (contraportada del kit educativo)

Para comprender mejor como afecta la luz a una célula fotovoltaica os proponemos adquirir algún kit como éste, en el cual se detallan un buen número de actividades demostrativas. Por otro lado, podemos estudiar el comportamiento de las células según el color de la luz (verde, rojo, amarillo, azul y negro) y observar qué efectos tienen sobre la generación de energía. Qué colores influyen más y menos? Por qué?

el alumnado.

Una vez hecha la inversión, el dinero obtenido de la producción fotovoltaica se puede reinvertir en nuevas actuaciones para hacer la escuela más eficiente o para otras actividades promovidas por la APA. Además, en la misma instalación, a pesar de que debe hacerla una empresa especializada, podrían participar alumnos de los cursos superiores.



Una iniciativa de este tipo podría animar a hacer una red de escuelas solares y llenar el mensaje, todavía demasiado vacío, de la sostenibilidad urbana y las Agendas 21 locales. Puede ser muy fácil si hay ganas.

Se puede empezar con una instalación de 1 kW. Con 9 paneles de 110 Wp y un inversor de 1250 W hay suficiente. No se necesitan más de 9 m<sup>2</sup> de superficie y una estructura de soporte muy simple.

En una escuela de 500 alumnos, se podría realizar por menos de 3000 ptas. por alumno, es decir, por menos de lo que vale un libro de texto, con la ventaja añadida de que la CEFV le será útil durante todo el tiempo que permanezca en la escuela (quizá diez años?)

La financiación también se puede lograr preparando actos o fiestas. La fiesta de Car-

naval, una semana para la ecología o la celebración de fin de curso podrían ser distintas posibilidades. También podría celebrarse un sorteo el premio del cuál fuera cobrar por la venta de la electricidad de la CEFV durante un determinado período.

Podríamos también pensar que se trata de una obligación del gobierno, de la misma manera que instala ordenadores conectados a Internet. La verdad es que tales inversiones estatales serían muy provechosas: la ventaja

de una CEFV es que ahorra energía durante un mínimo de veinte años, mientras que los ordenadores se vuelven obsoletos al cabo de 3 o 4 años.

Greenpeace ofrece asesoramiento sobre la energía fotovoltaica y promueve una Red de Escolares Solares.

Seguramente, los docentes podéis imaginar otras posibilidades y recursos para apuntar la escuela al poder solar. Si hacer un huerto escolar permite aprender

sobre la propia salud, una CEFV demostrativa nos prepara para una habilidad clave del siglo XXI: el ahorro y la eficiencia energética.

### **Ahorcar el contador**



Herramienta con batería para cargar con energía solar

Escondido detrás de la puerta de un armario oscuro en la entrada de la casa, el contador eléctrico es un vampiro que nos sodomiza con la belleza de cada aparato eléctrico que metemos en nuestra vida. Un simple botón es lo que espera el contador para añadir más vueltas. Hay que tomar conciencia de nuestro consumo eléctrico, no tanto porque sea más o menos costoso económicamente (como el del gas natural, aunque no tanto) sino porque la producción de electricidad y el efecto invernadero van de la mano.

El objetivo de esta sencilla actividad es buscar sistemas para reducir el consumo eléctrico de los alumnos. Una vez conozcamos el punto de partida, podemos discutir sobre las opciones que tenemos para ahorrar electricidad. Una opción interesante y complementaria es aprovechar la ocasión y solicitar el servicio de remolque sobre energías renovables propiedad de la Diputación de Barcelona y gestionado por la empresa TRAMA. Se pueden hacer reservas

en el teléfono 93-4022442.

Una buena introducción para emprender esta actividad es motivar a los alumnos a pedir a sus padres y personas mayores que les hagan una lista de los aparatos eléctricos que tenían en su casa cuando eran jóvenes. Luego, podrían compararlo con los que tienen en casa o los que podemos comprar en una tienda de electrodomésticos. Si tenemos posibilidad de tener el remolque de energías renovables podremos ver los consumos de aparatos energéticamente eficientes y compararlos con los propios. Por otro lado, nos permitirá conocer de cerca la tecnología de los paneles fotovoltaicos y los pequeños aerogeneradores.

Se puede también pedir a los alumnos que traigan los datos de los consumos anuales facturados, y a partir de aquí, se pueden hacer estimaciones para comprobar como hemos hecho nuestras cuentas ( si queréis hacer cálculos del gasto en pesetas, podéis considerar que el precio del kW, impuestos incluidos, es de unas 20 ptas. -ligeramente variable según la potencia contratada-). Este

### La energía en Barcelona \*

Si la ciudad de Barcelona quisiera generar toda la electricidad que consume con energía fotovoltaica sería necesario ocupar una superficie de 36,5 km.<sup>2</sup> de los 57 km.<sup>2</sup> de los tejados disponibles. Pero lo más interesante es saber que el término municipal recibe una cantidad de energía solar 10 veces superior a la que consume Barcelona en un año. La superficie edificada de la ciudad (sin incluir la superficie viaria) es de casi seis veces el consumo anual (la cantidad de radiación solar es de 1.470 kWh/m<sup>2</sup>.) Las emisiones de gases de efecto invernadero en 1997 fueron de unas 4.911,212 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, cantidad que corresponde a 3,24 tn/cápita. Una ciudad sostenible y responsable intentaría equilibrar el balance energético para producir emisiones. Si quisiéramos cumplir el Protocolo de Kyoto, ratificado por el Estado español, entre el 2008 y el 2012 deberíamos reducir en un 15% nuestras emisiones. En otras palabras, todos deberíamos instalarnos sistemas fotovoltaicos que nos permitieran evitar el consumo de energía no renovable. Absorber todos estos gastos requeriría una superficie de bosque de unos 7.441 km.<sup>2</sup>, es decir, la equivalente a 75 veces el municipio. El área boscosa más importante situada alrededor del área metropolitana de Barcelona, promovida por la Diputación de Barcelona, equivale a 1.500 km.<sup>2</sup>. Es fundamental que los ciudadanos apuesten por invertir una parte de sus ganancias en energía fotovoltaica en su propia vivienda.

*\* Información aportada por el Dr. Josep Puig, siendo concejal de Ciudad Sostenible del Ayuntamiento de Barcelona.*

ejercicio os puede ser muy útil para calcular el coste de una instalación fotovoltaica que pudiera cubrir todas las necesidades eléctricas de un hogar.

### La diarrea energética de la escuela

No seríamos coherentes si hiciéramos analizar la situación personal de los alumnos y pasáramos por alto la de la escuela. En esta actividad os proponemos identificar el consumo eléctrico de toda la escuela, y las vías por las que la escuela derrocha energía eléctrica. No contaremos ni la calefacción ni el gasto del agua caliente sanitaria de las duchas y lavabos porque creemos que es inmoral que no sean de procedencia solar en una escuela.

A continuación debatiremos como podemos mejorar la eficiencia energética, primero del aula y luego del edificio escolar.

Si tenéis la suerte de trabajar en una escuela construida con criterios de eficiencia energética, podéis plantear la actividad desde el punto de vista positivo, y valorar por qué es eficiente.

Para cada aula haremos un recuento del número de puntos de luz y de qué potencia son. Para los fluorescentes averiguaremos qué tipo de reactancias o balastos llevan, y de qué potencia. Estudiaremos también las instalaciones deportivas, comedores, auditorio, etc.

El objetivo de esta actividad es contabilizar si hay fugas de energía eléctrica en forma de iluminación ineficiente y si, por ejemplo cambiando horarios, se puede mejorar la eficiencia. Podéis contrastar las soluciones que encontréis, con la opinión de algún experto.

### El baile de las unidades de energía

Según el diccionario, la *energía* es la capacidad de un sistema físico para producir un trabajo. Pero qué es realmente la energía? Para poder comparar la cantidad de energía de una fuente geotérmica con la energía química

de una bacteria debemos inventar distintas unidades de medida.

La caloría equivale a la cantidad de calor necesaria para elevar 1° C la temperatura de 1 gramo de agua (en ciertas condiciones). El julio se define por la cantidad de energía necesaria para levantar una masa de 100 gramos a una altitud de 1 metro. Un kilovatio hora equivale a 3,6 millones de julios y teóricamente permite levantar 750 sacos de arena de 50 kg. cada uno hasta 10 m de altitud. Un julio también puede ser la energía necesaria para mantener encendida una bombilla de 11 Vatios durante 90 horas.

- 1 kcal = 0,0012 kWh
- 1kWh = 860 kcal
- 1 cal = 4,184 julios
- 1 Btu (unidad térmica británica) = 252 cal
- 1 barril de petróleo (156,98 litros) = 1.640, 8 kWh = 1.410.579 kcal
- 1 Tep (Tonelada equivalente de petróleo) = 1,5 Tec (Tonelada equivalente de carbón)
- 1 Tep = 4.500 kWh = 4,3 x 10<sup>10</sup> julios
- 1 CV = 746 Vatios

Comprender las equivalencias de todas las unidades de energía nos puede ayudar a interpretar mejor las posibilidades de un proceso energético, ya sea en forma de trabajo o de calor. Un buen ejercicio sería rellenar la tabla adjunta.

La mayor parte de la energía que consumimos proviene de la combustión de carburantes. A continuación os ofrecemos algunas equivalencias de las kcal/kg de algunos elementos habituales.

- Petróleo = 10.400

Conversión unidades	Kcal	KJ	kWh	Tep
<b>Kcal</b>	1			
<b>KJ</b>		1		
<b>kWh</b>			1	
<b>Tep</b>				1

- Gas natural = 11.800
- Carbón = 6.700
- Hidrógeno (gas) = 28.100
- Residuos urbanos = 1.700

Estos datos nos llevan a pensar que una sociedad que hiciera un uso eficiente de la energía utilizaría el hidrógeno como combustible, y dedicaría más esfuerzos para aprovecharlo. Investigad las posibilidades de la descomposición o hidrólisis del agua para obtener hidrógeno gas o de las llamadas células de hidrógeno.

### Cálculo de una instalación fotovoltaica

Lo primero que hay que hacer para calcular las características de una CEFV es saber el consumo máximo que hacemos en una casa. Así que la primera tarea que os proponemos es hacer una lista de los electrodomésticos y aparatos eléctricos enchufados en casa. Como ejemplo, os proponemos el cuadro adjunto que podéis modificar según las necesidades de las viviendas del alumnado.

Un aspecto que hay que tener en cuenta es el llamado consumo en vacío de algunos aparatos, es decir, el consumo eléctrico cuando están apagados pero enchufados. Os facilitamos algunos datos en este sentido.

Recordad que si disponéis de un contador como el EKM 265 (Ver *Perspectiva Ambiental* nº 13) lo podéis medir vosotros mismos.

Daros cuenta que, al cabo del año, son un montón de kWh derrochados que podrían ahorrarse con el simple acto de desenchufar esos aparatos. Respecto a la potencia en Vatios pico de los paneles, en el mercado hay paneles de 40 W hasta 120 W. Los datos de radiación cambian según el mes del año, así, mientras en invierno en nuestra latitud puede ser de 2,5 kWh/m<sup>2</sup>, en verano se llega a los 4,7 kWh/m<sup>2</sup>. El número de horas de Sol se puede estimar en unas 1.600 al año. Para calcular una instalación que fuera autónoma deberíamos tener en cuenta la potencia máxima durante el mes más desfavorable en radiación (generalmente, enero).

El cálculo que os proponemos es de carácter anual con el objetivo que la CEFV sea para compensar con energía renovable la energía no renovable consumida.

Multiplicando la media de Wh/día por 365 días que tiene el año, obtendremos la potencia en kWh/año.

Si dividimos la potencia en kWh/año por el número de horas de Sol anual sabremos la potencia fotovoltaica necesaria que tendríamos que instalar.

Finalmente, dividiendo la potencia fotovoltaica necesaria para los Wp del tipo de panel escogido sabréis cuántos paneles deben conectarse en paralelo. Con este dato, podréis solicitar el presupuesto para vuestra instalación en particular.

Consumo en vacío de algunos aparatos caseros

Aparell	Potència en buid Watts	Hores aturat	Total (Wh/dia)
Televisor	20	20	400
Video	18	20	360
Equip de música	20	22	440
Radio rellotge	3	24	72
Contestador telè fon	5	24	120
TOTALS			1392

## Algunos ejemplos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

Instalación fotovoltaica centralizada de SEBA par el núcleo rural de Escuaín (Huesca).



THE IMAGE BANK: Ronald Johnson

Central eléctrica fotovoltaica de Carrisa Plains (California) de 6 MW construida entre los años 1983-85 por Arco Solar, hoy Siemens Solar, una de las mayores de la época.



Antena de telefonía móvil y farola fotovoltaica de la empresa de tecnología solar ATERSA



ISOFOTON, fabricó el 1998 unos 90.000 paneles fotovoltaicos que exportó en un 73%.



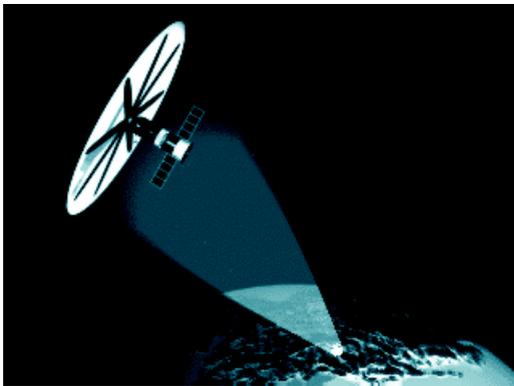
Central fotovoltaica de concentración del sistema "Euclides" de BP Solar en Tenerife de 500 kWp.



## Iluminar la noche ártica

Rusia ensayó durante la primavera de 1999 un espejo gigante en el espacio para iluminar sus regiones árticas durante el invierno. Se trata de un espejo de 25 m de diámetro situado a 360 km de altura. A pesar de tratarse de un experimento para iluminar durante unos minutos la superficie terrestre, la idea de este proyecto conocido por Znamya (bandera en ruso) tendría como objetivo en el futuro ubicar una batería de espejos de 200 m de diámetro entre 1.500 y 4.500 km y así poder incrementar las horas de Sol, un bien escaso en invierno en las latitudes árticas, e iluminar las ciudades de las poblaciones del círculo ártico en invierno. Las explotaciones extractivas que se encuentran en esta región del planeta mejorarían sus condiciones en invierno al incrementar la luz ambiental.

Sin duda, quizás sea un proyecto faraónico que jamás será llevado a cabo, más allá de ser un experimento singular. Pensemos que repercusiones ecológicas y astronómicas podría tener llevarlo a cabo. En fin, nos ha parecido un buen ejemplo para debatir los límites de explotar el poder de la luz del Sol.



Infografía del proyecto Znamya.

## Bibliografía

- Aplicación ALTENER. *CD rom sobre energías renovables*. APERCA. Barcelona, 1999.
- CENSOLAR. *La energía solar. Aplicaciones prácticas*. Progensa. Sevilla, 1996.
- Colmenar, A. & Castro, M. *Biblioteca Multimedia de las Energías Renovables* (CD rom). IDAE-Progensa. Sevilla, 1998.
- Doria Rico, J. i altres. *Energía solar*. Eudema Universidad. Madrid, 1988.
- Era Solar. *Avances en Energía Solar*. SAPT Publicaciones Técnicas. Madrid, 1999.
- IDAE. *Energía solar fotovoltaica*. Manuales de Energías Renovables, 6. Madrid, 1996.
- Jiménez, J.M. *Ingenios Solares*. Pamplona, 1997.
- SEBA. *Manual del usuario de instalaciones fotovoltaicas*. Progensa. Sevilla, 1998.

## Centros de demostración de energías renovables y otros recursos

Equipamientos interesantes para visitar dedicados a les energías renovables.

- The Centre for Alternative Technology Machynlleth (Gal·les). Llwyngwern Quarry. Powys SY20 9AZ. Regne Unit. <http://www.cat.org.uk>
- Centro de educación para un futuro sostenible (Skibsted-Fjord, Dinamarca) Green Village. Folkcenter for Renewable Energy. Kammersgaardsvej, 16 Sdr Ydby. 7760 Hurup Thy. Dinamarca. <http://www.folkcenter.dk>
- La ruta de l'energia. Propuesta de visita de varias masías equipadas con energía solar promovida por el ICAEN. Tel: 93 439 2800.
- Mostra d'energías renovables. Programa educativo para todo el ciclo de ESO dedicado a un uso más eficiente de la energía. Promovido por el Área de Medio Ambiente de la Diputación de Barcelona. Tel: 93 402 22 22.
- Era Solar. Revista de les energías renovables. Costa Rica, 13. 28016 Madrid. Tel: 91 350 5885.
- CENSOLAR. Centre de Estudios de la Energía Solar. Av. República Argentina, 1. 41011 Sevilla. Tel: 95-418 62 00. <http://www.censolar.edu>