

# Energía Solar Fotovoltaica

Pep Puig, Marta Jofra



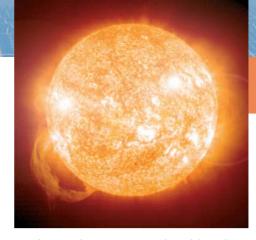
## ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

La obtención directa de electricidad a partir de la luz se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico. La existencia de este fenómeno fue puesta de manifiesto por el físico Antoine Becquerel, en el año 1839. Para conseguirlo, se requiere un material que absorba la luz del Sol y sea capaz de transformar la energía radiante absorbida en energía eléctrica, justo lo que son capaces de hacer las células fotovoltaicas.

#### **TODO UN DESCUBRIMIENTO**

Hacia 1870 el profesor W. Grylls Adams y un estudiante suyo, R. Evans Day, experimentaron sobre el efecto de la luz sobre el selenio, comprobando que se creaba un flujo de electricidad, que denominaron "fotoeléctrica". Era el año 1885 cuando Charles Fritts construyó el primer módulo fotoeléctrico, extendiendo una capa de selenio sobre un soporte metálico y recubriéndola con una fina película transparente de oro. Fritts envió sus paneles solares a Werner von Siemens, que ante la Real Academia de Prusia, presentó los módulos americanos declarando "por primera vez tenemos la evidencia de la conversión directa de la energía de la luz en energía eléctrica".

La primera célula fotovoltaica de silicio fue descrita por R. S. Olh en el año 1941. Pero los primeros dispositivos fotovoltaicos no se empezaron a fabricar hasta la década posterior. Fueron otras investigaciones las que hicieron posible que se abandonara el selenio y se empezara a utilizar el silicio como material básico para las células. En los Bell Laboratories, a comienzos de los años 50, Calvin Fuller y Gerald Pearson trabajaban en la materialización de la



teoría del transistor construido a base de silicio. A la vez que ellos estaban inmersos en mejorar los transistores, otro científico de Bell, Darryl Chapin, empezó en febrero de 1953 a investigar primero con selenio y luego con silicio, con el que logró eficiencias del 2,3%. Los cálculos teóricos de Chapin concluían que las células de silicio podían llegar a tener una eficiencia del 23%, aunque en la práctica Chapin llegó a desarrollar una célula con un 6% de eficiencia.

El 25 de abril los ejecutivos de Bell presentaron la denominada Batería Solar Bell. mostrando un panel de células fotovoltaicas que alimentaban una noria en miniatura (hoy en día, la noria gigante del embarcadero de Santa Mónica, California. está alimentada por un sistema fotovoltaico de 50 kWp). Al día siguiente, los científicos de Bell Laboratories llevaron la experiencia a la reunión de la Academia Nacional de Ciencias Americana, que se estaba realizando en Washington. Hicieron funcionar un radio transmisor alimentado por energía solar, que llevó voz y música a la prestigiosa reunión. La prensa recogió la noticia manifestando: "las células solares de Bell suministran energía a partir del sol en una cantidad de 60 W/m<sup>2</sup>. mientras que la célula atómica, recientemente anunciada por RCA, suministra una millonésima de vatio. Por tanto, la célula solar proporciona 50 millones de veces mas energía que el artefacto de RCA" (se referían a la denominada pila atómica, que consistía en una célula de silicio alimentada por energía nuclear, que utilizaba los fotones emitidos por un muy nocivo residuo radiactivo, el Estroncio-90, en vez de los fotones solares, y que había sido pomposamente anunciada por RCA, coincidiendo con el programa denominado "Atomos para la Paz", cuyo objetivo era la promoción de la energía nuclear a escala mundial).

A partir de este momento, las células solares fotovoltaicas entraban de lleno en el campo de acción de la industria. Primero fue Western Electric, que las utilizó para alimentar líneas telefónicas en las zonas rurales de Georgia. En 1955, National Fabricated Products compró la licencia para la fabricación de células solares a Western Electric, para intentar el mejoramiento de su eficiencia. La primera empresa que intentó su co-



### Bell System Solar Battery Converts Sun's Rays into Electricity!

Bell Telephone Laboratories invention has great possibilities for telephone service and for all mankind

Ever since Archimedes, men have been earching for the secret of the sun.

For it is known that the same kindly rays that FOR I SKNOWN HAI the SADE KINDLY TAYS THAT help the flowers and the grains and the fruits to grow also send us almost limitless power. It is nearly as much every three days as in all known reserves of coal, oil and uranium.

If this energy could be put to use—there would be enough to turn every wheel and light every lamp that mankind would ever need.

The dream of ages has been brought closer by the Bell System Solar Battery. It was in-vented at the Bell Telephone Laboratories after

long research and first announced in 1954. Since then its efficiency has been doubled and its usefulness extended.

There's still much to be done before the battery's possibilities in telephony and for other uses are fully developed. But a good and pioneering start has been made.

The progress so far is like the opening of a door through which we can glimpse exciting new things for the future. Great benefits or telephone users and for all mankind may come from this forward step in putting the energy of the sun to practical use.

BELL TELEPHONE SYSTEM



Este es el anuncio que los Laboratorios Bell hicieron del primer panel fotovoltaico desarrollado por sus científicos en 1953. Desde entonces, la tecnología solar ha dado pasos muy importantes.





La industria aeroespacial ha sido siempre una importante embajadora de la solar fotovoltaica. En la foto superior, el Explorer I, primer satélite lanzado por Estados Unidos. Debajo el Viking I y la Estación Espacial Internacional, con sus paneles extendidos.



mercialización fue la californiana Hoffman Electronics, en 1956, para introducirlas en campos de aplicación específicos (alimentación de lugares remotos alejados de la red eléctrica).

### PRIMERO, EN EL ESPACIO

Las células fotovoltaicas tuvieron su primer gran campo de aplicación en el espacio. Fue a partir del invento de Chapin, Fuller y Pearsons, cuando Hans Ziegler, jefe de investigación sobre sistemas de suministro de energía del ejército estadounidense, tras visitar los Bell Laboratories, concluyó que la única aplicación factible era la super-secreta operación denominada "Lunch Box", que no era otra que la construcción y lanzamiento de un satélite artificial.

La ciencia ficción se materializó con el anuncio del presidente Eisenhower, realizado el 30 de julio de 1955, de que América tenía planes para colocar un satélite en el espacio. En la primera página del New York Times apareció un dibujo del satélite alimentado por células solares.

Con las células fotovoltaicas en el espacio a finales de los años 60 y principios de los 70, parecía imposible traerlas de vuelta a la Tierra. Hubo alguna excepción: las agencias del Gobierno de los Estados Unidos implicadas en actividades se-

cretas apreciaron inmediatamente su valor. La CIA, por ejemplo, quería saber el volumen de tráfico a través de la ruta Ho Chi Minh durante la guerra del Vietnam. Por ello utilizó fuerzas especiales para instalar detectores camuflados a lo largo de la misma. ¡Y estos detectores estaban alimentados por células solares fotovoltaicas!

#### LA FOTOVOLTAICA VUELVE A LA TIERRA

En 1973 investigadores de Exxon (entonces denominada Esso) sorprendieron a todo el mundo al anunciar que su filial Solar Power Corporation "comercializaba módulos fotovoltaicos que serían competitivos con otras fuentes de energía en aplicaciones terrestres».

Solar Power Corporation comenzó a investigar para reducir el coste de fabricación de las células. Empezaron por utilizar, no silicio cristalino puro, como el utilizado en la industria de los semiconductores, sino silicio de rechazo de esta industria. Así lograron fabricar módulos a un coste de 10 \$/Vatio, que se vendían a 20 \$/Vatio. Los primeros mercados masivos de células fotovoltaicas se desarrollaron en primer lugar en torno a aplicaciones aisladas de la red eléctrica: señalización marítima mediante boyas luminosas, señalización ferroviaria, antenas de comunicaciones (telegrafía, telefonía, radio, TV, etc).

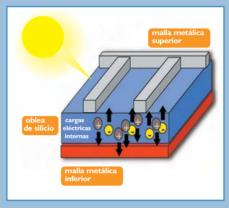
# ¿Cómo funcionan las células fotovoltaicas?

Una corriente eléctrica es un flujo de electrones que se produce al establecerse una diferencia de potencial eléctrico. Todos los materiales están repletos de electrones. Los átomos de los materiales están formados por núcleos con carga eléctrica positiva rodeados por nubes de electrones con carga eléctrica negativa. En algunos materiales es muy fácil hacer circular una corriente eléctrica. En otros es más difícil, por no decir imposible. Por ejemplo, en el caso del cobre o de otros metales, los electrones se pueden desplazar libremente y permiten establecer circuitos por donde pasa una corriente eléctrica. Estos materiales se denominan conductores. Sus electrones tienen unas energías particularmente elevadas y pertenecen a una banda energética denominada banda de conducción. En cambio, existe otro tipo de materiales en los cuales no puede circular corriente eléctrica alguna, debido a que sus electrones no tienen ninguna posibilidad de desplazamiento. Se trata de los materiales aislantes, en los que sus electrones pertenecen a una banda denominada de valencia. También existen materiales semiconductores, que no son ni conductores, ni aislantes, pues en ellos las cargas en las dos bandas de energía antes citadas, la de conducción y la de valencia, se encuentran separadas por una banda de energía denominada prohibida, porque en ella no hay ninguna carga eléctrica que tenga la energía correspondiente.

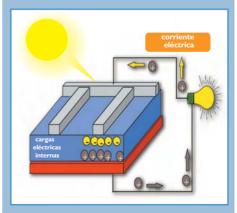
Una célula fotovoltaica sólo puede generar electricidad cuando se cumplen tres condiciones:

- a) se ha de poder modificar el número de cargas positivas y negativas
- b) se han de poder crear cargas que permitan la aparición de una corriente
- c) es preciso que se establezca una diferencia de potencial o campo eléctrico

## La célula fotovoltaica



La oblea de silicio ha sido tratada para que cuando incida sobre ella la luz solar se liberen y se "empujen" las cargas eléctricas hacia la superficie. (Las positivas en una dirección y las negativas en otra)



Si se cierra el circuito eléctrico las cargas salen de la célula creando una corriente eléctrica

Fuente: BP Solar

# Energía en las misiones

Eran los años 70 cuando la región del Sahel sufría una grave sequía. Un misionero católico, el padre Bernard Verspieren, de la orden de los Padres Blancos, fundaba la ONG denominada "Mali Aqua Viva", con el objetivo de perforar pozos y disponer de agua para regadío. Pero ¿qué energía utilizar para el bombeo del agua?

Fue una joven mujer, Dominique Campara, graduada en una escuela de ingeniería francesa a mediados de los años 70, la que contribuyó al hallazgo de la solución, con su tesis doctoral sobre el bombeo de agua mediante solar fotovoltaica. Su interés por la energía solar se había despertado después de asistir a la Cumbre Solar de París (1973) organizada por la UNESCO y después de haber oído diversas conferencias de Wolfgang Palz, conocido en Francia como Mr. Solar. Con la ayuda de la compañía Philips (que donó los módulos fotovoltaicos) y Pompes Guinard (empresa francesa líder en fabricación de bombas) instaló un prototipo en la isla de Córcega, donde ella vivía, y luego el primer sistema de bombeo solar FV en Africa. Tras recoger dinero de algunas

organizaciones donantes, se fue al poblado de Nabasso, en Mali. Una mañana calurosa, después de haber conectado los cables, y bajo la asombrada mirada de los lugareños, empezó a salir agua del pozo, sin ningún ruido y sin el negro humo de los generadores de combustión interna. Parecía algo mágico. No podían comprender que era el Sol que alimentaba la bomba, pero con la caída de la noche enseguida lo entendieron.

La primera condición se alcanza cuando se añaden a un semiconductor puro unas pequeñas dosis de átomos "contaminantes", denominados también dopantes, que son capaces de ceder o aceptar electrones. Para alcanzar la segunda, es preciso exponer la célula fotovoltaica a una radiación luminosa para aprovechar la energía de los fotones (o partículas de luz). Si la energía es la adecuada, el fotón cede energía a un electrón de la banda de valencia y lo hace pasar a la banda de conducción, saltando la banda prohibida. En este proceso aparece, a su vez, en la banda de valencia lo que se denomina un agujero (de carga positiva) debido a la ausencia de un electrón que ha ido a parar a la banda de conducción. Con la creación de estas cargas se puede establecer una corriente eléctrica al cerrar el circuito.

Finalmente, y ésta es la tercera condición, se puede obtener una diferencia de potencial uniendo dos semiconductores que contienen una densidad de cargas positivas o negativas diferente. La existencia de estas cargas positivas y negativas origina de una manera natural un campo eléctrico (o una diferencia de potencial) entre las dos regiones de la unión. Un dispositivo constituido por esta unión recibe el nombre de célula solar (o célula fotovoltaica). Cuando la célula recibe los fotones de una radiación luminosa, las cargas negativas y positivas creadas se separan a causa del campo eléctrico y, si entonces se cierra un circuito entre los dos materiales que forman la unión, aparece una corriente eléctrica.

# DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN

El material predominante para la fabricación de células fotovoltaicas es el silicio, uno de los materiales más abundantes en nuestro planeta. La cantidad de silicio necesaria para producir IMWp de células es actualmente del orden de II,5 toneladas, cuando hace menos de diez años se necesitaban I5.







La mayor parte de las células que se producen en el mundo son de silicio cristalino (87,4%) que incluye monocristalino y policristalino. Las monocristalinas se fabrican a base de lingotes puros de silicio (los mismos que los utilizados en la fabricación de chips electrónicos). Las policristalinas se fabrican a partir de la refundición de piezas de silicio monocristalino. Si bien su rendimiento es ligeramente inferior, su adquisición es mucho menos costosa. Las células de silicio amorfo (5,2%), se obtienen a partir de la deposición de capas delgadas sobre vidrio. El rendimiento de estas células es menor que el de las de silicio cristalino, razón por la cual se destinan a aplicaciones de pequeña potencia (calculadoras, relojes, etc).

Otras tecnologías prometedoras son las nuevas capas delgadas que representan una alternativa a la tecnología cristalina. En ellas, el semi-conductor se economiza porque es aplicado en forma pulverizada y no precisa ser cortado, como en el caso de las tecnologías cristalinas. La gran promesa de estas tecnologías es que pueden reducir enormemente los costes de producción. Entre ellas destacan las células de teluro de cadmio (CdTe) y las de seleniuro de cobre e indio (CIS). Las primeras no tienen mucho futuro debido a la toxicidad de sus componentes. No obstante representan hoy en torno al 4,7%. En cambio las segundas parecen mucho más prometedoras, aunque de momento sólo suponen el 0,5% de la producción mundial.

Aparte de las tecnologías descritas hasta aquí, existen otras, como los sistemas de concentración y los sistemas termofotovoltaicos (TFV). Los sistemas de concentración son los que mediante lentes o espejos concentran los rayos solares sobre una célula. Estos sistemas son mas

Imagen del proceso de fabricación robotizado en la fábrica de Isofotón, en Málaga.



Abajo, una instalación fotovoltaica emblemática, al pie de las torres de refrigeración de la central nuclear de Rancho Seco, en California (Estados Unidos). Tiene una potencia de 3,9 MW.



# Producción de células fotovoltaicas en 2007 (MW<sub>P</sub>)

Alemania	875,6	76%
España	132,3	11%
Noruega	46	4%
Francia	39	3%
Holanda	36	3%
Bélgica	29,1	2%
Rusia	6	1%
Italia	5,6	_
Otros	1	_
TOTAL EUROPA	1.170,6%	100%
China	1.200	28%
China Europa	1.200 1.170,6	28% 27%
Europa	1.170,6	27%
Europa Japón	1.170,6 932	27 % 22 %
Europa Japón Taiwán	1.170,6 932 461,6	27 % 22 % 11 %
Europa Japón Taiwán Estados Unidos	1.170,6 932 461,6 273	27% 22% 11% 6%
Europa Japón Taiwán Estados Unidos India	1.170,6 932 461,6 273 64,2	27% 22% 11% 6% 2%
Europa Japón Taiwán Estados Unidos India Australia	1.170,6 932 461,6 273 64,2 35,4	27% 22% 11% 6% 2% 11%

# Potencia fotovoltaica instalada en la UE (MW<sub>P</sub>)

	En	Acumulado hasta
	2006	2006
Alemania	953	2.863
España	60,5	118
Italia	11,6	57
Francia	6,4	32,6
Austria	1,5	25,5
Luxemburgo	0,04	23,6
Reino Unido	3,2	14
Grecia	1,2	6,7
Suecia	0,6	4,8
Bélgica	2,1	4,1
TOTAL UE	1.043	3.216 MW

Fuente: EurObserv'ER

Central de Sonnen (Alemania), con 1,75 MW instalados. Debajo, el primer seguidor de concentración fotovoltaica de SolFocus instalado en el Instituto de Sistemas Fotovoltaicos de Concentración (ISFOC). en Puertollano (Ciudad Real).



adecuados para lugares soleados, ya que las lentes o los espejos deben "ver" el Sol, para seguirlo y concentrarlo continuamente sobre la célula. Empezaron a desarrollarse en los años 70 y últimamente han experimentado un desarrollo espectacular, sobre todo en España.

En los sistemas Termo FV, el flujo de energía radiante (los fotones) no procede del Sol, sino que se crea por calentamiento de un elemento cerámico en un horno quemando gas natural. En este caso la energía radiante procede de la emisión infrarroja del elemento cerámico caliente. Las células FV multicapa a base de Arseniuro de Galio (GaAS), sensible a la luz del Sol, y de Antimoniuro de Galio (GaSb), sensible a la radiación infrarroja, descritas ya en el año 1989, desarrolladas inicialmente en el NREL (National Renewable Energy Laboratory), han demostrado eficiencias de hasta un 34%, debido al amplio espectro de la radiación solar que utilizan. Ellas podrían ser la base para los sistemas TFV, más adecuados para climas menos soleados, mas frí-



Como se ve en estas imágenes, los usos de la solar fotovoltaica son de lo más dispares y la integración arquitectónica de los sistemas ha alcanzado cotas de gran belleza.

## El mercado

La participación en el mercado de las diferentes tecnologías fotovoltaicas en 2007 es:

■ Total mundial: 4.200 MWp

Silicio cristalino: 87,4% Silicio amorfo: 5,2%

Teluro de cadmio: 4,7% Cobre selenio indio: 0.5%

Otras tecnologías: 2,3%

■ Total España: 130 MWp (más del 3% de la producción mundial)

Silicio cristalino: 100%

La producción geográfica de células fotovoltaicas (MWp) en el mundo (2007) es:

China: 1.200 (28%)

Europa: 1.170,6 (27%) Japón: 932 (22%)

Taiwán: 461,6 (11%) Estados Unidos: 273 (6%)

TOTAL MUNDO: 4.279 (100%)

Los principales fabricantes de células fotovoltaicas (MWp) en el mundo (2006) son:

Sharp (Japón): 434 (17,1%) Q-Cells (Alemania): 253 (10%)

Kyocera (Japón): 180 (7,1%) Suntech (China): 158 (6,3%)

Sanyo (Japón): 155 (6,1%) Mitsubishi (Japón): 111 (4,4%)

Motech (Taiwan): 102 (4%)

Mercado fotovoltaico mundial por aplicación:

Conexión a red: 82%

Remoto viviendas: 8%

Remoto industrial: 7%

Remoto otros: 2%

Productos de consumo

(relojes, calculadoras...): 1%

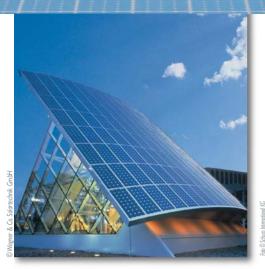


os. La combinación de los sistemas TFV con los sistemas FV clásicos permitiría disponer de electricidad día y noche, esté despejado o nublado, en invierno o en verano, ya que se complementan perfectamente.

# EL MERCADO ACTUAL DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (1.357CC)

El mercado mundial de células fotovoltaicas creció un 20% entre 1990 y 2000, en torno al 40% en 2005 y 2006, y hasta un 70% en 2007, cuando la fabricación mundial de células FV llegó a los 4.279 MWp. Ya en el año 2000 se superó la cifra de 1.000 MWp de potencia instalada acumulada en el mundo, exactamente 1.428, según datos de la Asociación Europea de la Industria Fotovoltai-







ca (EPIA). En 2005 eran 5.253 y actualmente ya superan los 9.000 MWp. EPIA cree que en 2012 podría haber cinco veces más fotovoltaica instalada que ahora, hasta los 45 GWp.

En el año 2002, el entonces tejado solar FV más grande del mundo fue construido por Nuon Energy Company en Holanda, donde uno de los edificios de la Feria de Horticultura Floriade dispone de 25.100 m² de captación solar, o sea 19.000 paneles FV, con una potencia de 2,3 MWp. Ese mismo año la mayor instalación FV del mundo estaba en Hemau (Baviera), una de las zonas más soleadas de Alemania: ocupa 7 hectáreas y tiene una potencia de 4 MWp.

Hace apenas unos años estas instalaciones podrían parecer gran cosa, pero hoy se instalan parques multimegavatio a un ritmo asombroso. Por ejemplo, en Trujillo (Cáceres), la empresa española Elecnor construye un parque de 23 MW. Y Acciona inauguró en 2007 en la localidad navarra de Milagro una planta de 9,5 MW que pertenece a 753 pequeños propietarios.

## LA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA (1.378CC)

A finales de 2007 había en España 607 MWp fotovoltaicos, de los que aproximadamente el 6% corresponden a instalaciones aisladas y el resto están conectadas a red. Sólo en 2007 se instalaron 451 MW, es decir, 51 más que los 400 previstos como objetivo para 2010 en el Plan de





Planta de Acciona en Tudela (Navarra) de 1,2 MW operativa desde julio de 2002. Dispone de 400 seguidores solares con un total de 12.602 paneles.

A la derecha, huerta solar de Acciona de 9,5 MW, ubicada en la localidad de Milagro (Navarra), con 864 estructuras de cabtación solar.



Energías Renovables. Por comunidades autónomas, Castilla–La Mancha es la que más instaló ese año, con 86 MW, seguida de la Comunidad Valenciana (64 MW), Castilla y León (56 MW) y Navarra (50 MW)

Desde el año 2000 la capacidad de producción de células fotovoltaicas en España no ha parado de crecer. En 2007 se alcanzaron los 132 MW, lo que supone más del 3% de la producción mundial. España es el sexto fabricante del mundo, tras China, Japón, Alemania, Taiwán y Estados Unidos. Y su dinamismo industrial sigue creciendo porque en 2009 contará con la primera planta de polisilicio -el material del que se fabrican las células- que el consorcio Silicio Energía, en el que participan Isofotón y Endesa entre otros, está construvendo en la localidad de Los Barrios (Cádiz). Todo esto, unido por supuesto al empuje del mercado fotovoltaico internacional, ha permitido unas reducciones sostenidas del precio del vatio instalado en de un 5% anual aproximadamente. Hasta el punto de que la industria solar en España se ha comprometido a que el kWh fotovoltaico iguale al kWh residencial antes de 2020.

## LOS SISTEMAS PARA LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FV

Los sistemas hoy disponibles para realizar un uso efectivo de la energía solar y convertirla en electricidad se dividen en dos grandes grupos: sistemas autónomos sin conexión a la red y sistemas conectados a la red.

#### LOS SISTEMAS AUTÓNOMOS

Constan de un sistema de captación solar (células solares dispuestas en paneles), las baterías para almacenar la electricidad generada en corriente continua y el sistema de control para asegurar el correcto funcionamiento de carga y descarga de la baterías. Los sistemas autónomos básicamente se utilizan para el suministro de electricidad en lugares donde no existe red eléctrica convencional: en zonas rurales, en países en vías de desarrollo, etc.

Un ejemplo de sistemas solares FV autónomos es el programa "100.000 Solar Ger" en Mongolia, cuyo objetivo es alcanzar la instalación de 100.000 sistemas solares domésticos, con una potencia de 10 MWp en el año 2010.



# La radiación solar en España



- Zona 1 media anual
  - <1.450 kWh/m<sup>2</sup>.
  - Zona 2 media anual
    - $>= 1.450 \text{ y} \ll 1.680 \text{ kWh/m}^2$ .
  - Zona 3 media anual
    - $>1.680 y <= 1.825 kWh/m^2$ .
  - Zona 4 media anual
    - $>1.825 y \le 2.500 \text{ kWh/m}^2$ .





Las instalaciones fotovoltaicas aisladas necesitan un banco de baterías para poder utilizar la electricidad producida por los paneles cuando no luzca el sol.



#### LOS SISTEMAS CONECTADOS A LA RED

No disponen de ningún tipo de almacenamiento. Simplemente constan de los sistemas de captación y de conversión de la electricidad generada (de corriente continua a corriente alterna), y de conexión a la red. Se instalan básicamente en zonas urbanas de países industrializados.

# SISTEMAS CENTRALIZADOS VERSUS DESCENTRALIZADOS

A mediados de los años 70 y principios de los 80, cuando los gobiernos de los países industrializados empezaron a financiar programas de energía solar, tendieron a favorecer plantas FV centralizadas y de gran tamaño, en vez de unidades pequeñas situadas en los tejados de los edificios. La razón no era otra que seguir la tendencia, dominante hasta entonces, de generar electricidad con grandes instalaciones centralizadas. Así empezaron a construirse centrales eléctricas FV en diversas partes del mundo.

Sin embargo, muchos pioneros de la energía solar FV estaban convencidos de que esta tecnología estaba más adaptada a generar energía en el mismo lugar donde se necesitaba. La revista Science, en 1977, sugería al Gobierno de Estados Unidos que prestase más atención a los dispositi-

vos FV in-situ. El debate sobre dónde situar los paneles FV se intensificó cuando diversas empresas eléctricas californianas construyeron, a principios de los años 80, centrales FV de varios megavatios de potencia. En España, tras el boom experimentado en 2007 también se ha planteado la necesidad de potenciar más las instalaciones sobre edificios que los grandes parques solares.

#### SISTEMAS CENTRALIZADOS

Quizás una de las centrales más emblemáticas fue la que se instaló al pie de las torres de refrigeración de la central nuclear de Rancho Seco, California (Estados Unidos). La promovió la innovadora y activa empresa eléctrica municipal de Sacramento (SMUD), bajo la dirección de David Freeman (que se había hecho famoso por haber tomado la decisión de cerrar la central nuclear, convirtiendo a SMUD en la primera empresa eléctrica del mundo que "apagó definitivamente el interruptor" de una central nuclear en funcionamiento). Eran dos centrales de I MWp de potencia cada una. Actualmente esta central tiene una potencia total de 3,9 MWp.

Probablemente, la central FV más antigua del mundo es la que empezó a funcionar el 13 de abril de 1981 en Beverly, Massachusetts (Estados Unidos). Tenía I 00 kWp de potencia y, tras algunos retoques, hoy continua generando electricidad, con lo que proporciona al mundo la experiencia de un caso real único de longevidad de paneles y tecnología FV.

En España, aunque con retraso, se empezó con una central de 100 kWp en San Agustín de Guadalix (Madrid) en el año 1985, que fue seguida por otra de I MWp en la Puebla de Montalbán (Toledo) en junio de 1999. En enero de 2003, se in-

auguró una central FV de 1,2 MWp de potencia en Montes de Cierzo, cerca de Tudela (Navarra), promovida por lo que antes era EHN y ahora es Acciona. Dicha central abarca una extensión de 70.000 m<sup>2</sup> de superficie y contiene 12.602 paneles. Está previsto que genere 2 millones de kWh/año. Consta de dos partes: la central, que se conectó a la red en noviembre de 2001, y utiliza 280 seguidores y 10.080 paneles (BP-585); y la distribuida, que se conectó en verano de 2002, y contiene 120 seguidores con 2.522 paneles de 11 tipos diferentes (fabricados por 9 empresas: BP Solar, Isofotón, Atersa, Kyocera, Mastervolt, ASE, Siemens, Unisolar y EPV, representando cinco tecnologías diferentes: silicio policristalino, monocristalino y amorfo, capa fina CIS y triple capa). Una central del mismo tamaño, I,2 MWp se inauguró en Carmona (Sevilla) en octubre de 2006. En 2007 se inició la construcción de dos plantas mucho más grandes que las instaladas hasta aho-

# Potencia fotovoltaica instalada en 2007



ra: la citada de 23 MW de Trujillo (Cáceres) promovida por Elecnor. Y una primera fase de 40 MW en Moura (Portugal), iniciativa de Acciona.

#### SISTEMAS DESCENTRALIZADOS

El debate sobre el uso centralizado o descentralizado de la energía solar estaba en pleno apogeo a principio de los años 80, cuando un ingeniero suizo, Markus Real, tomó cartas en el asunto para demostrar en la práctica que era mejor situar sistemas FV en los tejados de los edificios. Para ello creó una pequeña empresa, Alpha Real, que se hizo famosa en toda Suiza, después de haber ganado el primer rally solar que se realizaba en Europa, en 1985, ya que cualquier ciudadano suizo había podido ver "el Mercedes Benz equipado por Alpha Real". Para probar las ventajas de la energía FV instalada en los tejados de los edificios en vez de en grandes centrales, Alpha Real lanzó su revolucionario proyecto Mega-



Watt. Era su respuesta a los grandes proyectos de centrales solares FV de los años 80. Por ello contrató anuncios en la radio y en la prensa buscando propietarios para 333 pequeñas centrales FV. El único requisito: disponer de un tejado soleado. Recibió inmediatamente miles de llamadas y se vendieron más de 333 instalaciones FV de 3 kWp cada una. El proyecto MegaWatt enseñó al mundo industrializado que era en los edificios donde los paneles FV debían colocarse.

Las instalaciones FV del Museo Nacional de la Ciencia y la Técnica de Catalunya, en Terrassa –en esta página–, y la Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró –foto inferior–, son obra de TFM y buenos ejemplos de integración arquitectónica.

La suerte hizo que David Freeman, entonces director de la SMUD, durante unas vacaciones en Suiza pudiera discutir con Markus Real sobre la conveniencia de construir centrales solares FV de gran tamaño. Real, convencido de las ventajas de los sistemas descentralizados, influyó de tal manera sobre Freeman que éste, al volver a California, empezó a trabaiar para convertirlo en realidad. Así empezó el novedoso programa PV Pionner de la SMUD, que instaló en teiados de 436 familias de Sacramento sistemas FV de 4 kWp, todos ellos propiedad de la SMUD, y que totalizaban casi 2 MWp de potencia distribuida por toda la ciudad. Desde 2001 a 2007, un nuevo programa, PV Pionner II, ha permitido la instalación de 5 MWp más en Sacramento.

Hoy tenemos multitud de ejemplos de sistemas solares FV conectados a la red de forma descentralizada. Por ejemplo el programa promovido por el Ministerio de Economía japonés,





cuyo objetivo es llegar a disponer de una potencia instalada de 5.000 MWp en el año 2020. O el programa de promoción de la energía solar FV en la Unión Europea, cuyo objetivo es llegar a 3.000 MWp en el año 2010.

## LOS TEJADOS SOLARES DE ALEMANIA

Probablemente el programa FV más emblemático sea el de Alemania. Su primera fase se remonta al periodo 1988-1991, cuando empezaron a instalarse plantas piloto financiadas en muchos casos tanto por la Comisión Europea como por el Gobierno alemán. En esta primera fase se alcanzó una potencia de 1,4 MWp. La segunda fase corresponde al Programa 1.000 Tejados Solares, que posteriormente se incrementó hasta 2.000 (años 1991-1994), alcanzando una potencia de 5,25 MWp. La tercera fase (1995-1999) corresponde a nuevas iniciativas promovidas por los estados federados (10 MWp) y por diversas ciudades (6 MWp). A principios del año 1999 se inició la cuarta fase, a partir del Programa llamado 100.000 Tejados Solares, incentivando el mercado solar FV a base de créditos a bajo interés. Ello se complementó a partir del 1 de abril del año 2000 con otro incentivo vinculado a la generación de electricidad mediante sistemas solares FV: la Ley de Energías Renovables, que fijó el precio primado de la electricidad generada por un usuario de sistemas solares EV en 0.51 euros/kWh.

## SISTEMAS INTEGRADOS EN LOS EDIFICIOS

En los últimos años se ha desarrollado enormemente el concepto de FV integrado en los edificios. Este concepto se basa no en disponer los paneles sobre la cubierta o las paredes externas del edificio (sea el tejado o la fachada), sino en hacer un único elemento que a la vez actúe de cerramiento del edificio y de sistema de generación solar de electricidad.

El primer edificio que implementó este concepto fue la Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró (Barcelona), en la cual toda la fachada frontal del edificio consta de un doble acristalamiento, con las células FV integradas en el cristal exterior (244 m² con una potencia de 20 kWp), posibilitando la circulación de aire entre ellas, lo que permite la refrigeración de las células (aumentando su rendimiento) y permitiendo disponer de aire precalentado para usos térmicos (calefacción o refrigeración mediante máquinas de absorción).

Además, en el tejado dispone de 4 lucernarios con diversas tecnologías. En total, el edificio dispone de una potencia de 53 kWp y genera 45 MWh/año de energía eléctrica, además de 110,5 MWh de energía térmica a lo largo de los 5 meses en los que se necesita climatización, con lo que se cubre un 90% de las necesidades del edificio, y 7 MWh/mes en los meses fríos, utilizados en el precalentamiento de aire para el sistema de calefacción.

Avión solar experimental sin piloto construido por la NASA y cubierta fotovoltaica en una gasolinera de BP.



Hoy en día, hay numerosos edificios del mundo que han incorporado este concepto, entre ellos De Kleine Arde (La Pequeña Tierra, el centro nacional holandés de educación ambiental y sostenibilidad), el Brundland Center en Dinamarca, y muchos otros. Incluso se han incorporado filas de células FV en los cristales de las

ventanas, con lo cual se transforma este elemento constructivo en un micro-sistema generador de electricidad solar (Folkecenter for Renewable Energy, Dinamarca).

Otra novedad la constituyen las denominadas "tejas solares", que no son otra cosa que elementos constructivos que hacen una doble función: cerrar el edificio como tejado y a su vez convertirlo en central de generación solar de electricidad.



# BENEFICIOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El enorme potencial de la radiación solar queda reflejada con una sola cifra: para generar mediante sistemas solares FV toda la electricidad que la humanidad consumió el año 2007 (unos 18 billones de kWh), se necesitaría una superficie de 180.000 km² (suponiendo un promedio de generación solar de 100 kWh/m².año), que comparada con la superficie terrestre de nuestro planeta, 132 milones de km², representa un 0,14% de ella.

El aprovechamiento de la energía solar para la generación de electricidad contribuye a la sostenibilidad del sistema energético, pues evita que se genere electricidad a partir de combustibles fósiles no renovables (reduciendo las emisiones de gases asociados a éstos) y de centrales nucleares. La energía solar fotovoltaica distribuida, además, no requiere ocupación de espacio adicional, pues se puede instalar en tejados o integrarla en edificios.

En referencia a los aspectos económicos y sociales, la energía solar fotovoltaica permite reducir la tasa de dependencia exterior para el abastecimiento de combustibles (que en España es actualmente de un 85%) y aumentar así la seguridad en el suministro. Esta seguridad resulta también reforzada por una mayor diversificación de las fuentes energéticas.

La energía solar FV también evita costes de mantenimiento y transporte de las líneas eléctricas, tanto en zonas de difícil acceso, donde no llega la red, como en áreas urbanas, donde muchas veces coinciden las puntas de demanda eléctrica con los momentos de máxima insolación. Una vez instalada, tiene un coste energético de mantenimiento nulo.

La promoción de la energía solar fotovoltaica, conjuntamente con las demás fuentes renovables, se ha convertido en un objetivo principal para la UE, no sólo por sus beneficios ambientales y económicos, sino también por su gran potencial para la generación de empleo. Según el estudio sobre renovables y empleo elaborado por ISTAS en 2008, la solar fotovoltaica da empleo directo a 26.500 personas en España, lo que supone un 30% de todo el empleo que generan las renovables, y que van desde la fabricación de células, paneles solares y equipos de regulación y control, hasta la realización de la instalación y posterior mantenimiento de la misma, generalmente asumido por la empresa instaladora. España es el segundo productor europeo de células fotovoltaicas, con una producción de 132 MW en 2007, cuatro veces más que en 2002.



# Créditos

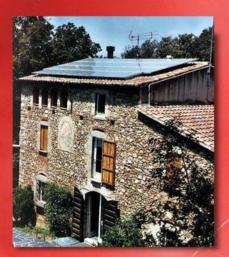
"Energías Renovables para todos" es una colección elaborada por

Haya Comunicación, editora de la revista "Energías Renovables"

www.energias-renovables.con con el patrocinio de Iberdrola.

- Dirección de la colección:
- Luis Merino / Pepa Mosquera
- Asesoramiento:
  - Iberdrola. Gonzalo Sáenz de Miera
- Diseño y maquetación:
  - Fernando de Miguel/Judit González
- Redacción de este cuaderno:

Pep Puig, Marta Jofra.



Energias renOvables

