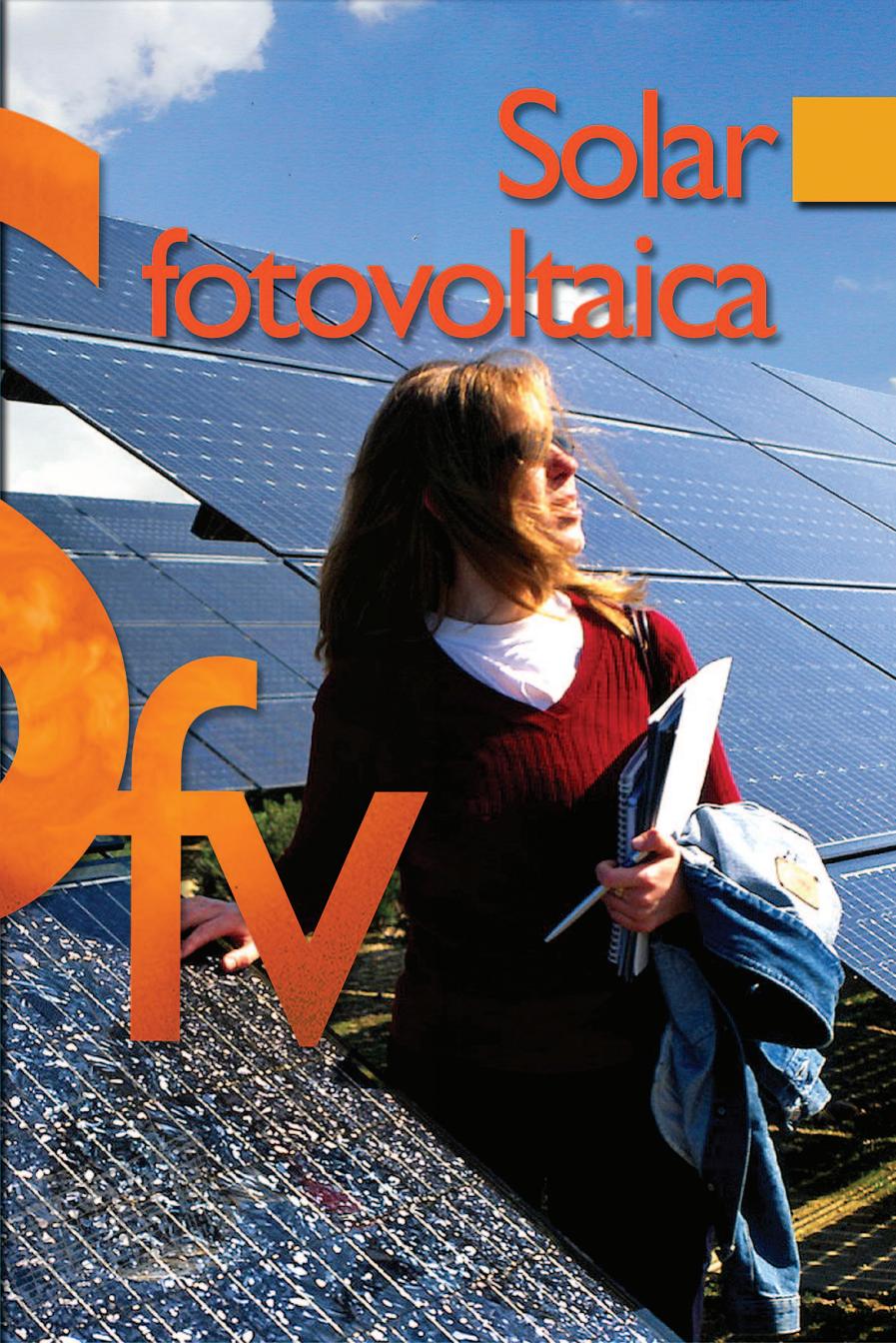


Energías renovables para todos

Solar fotovoltaica

Sofía



Energía Solar Fotovoltaica

Pep Puig, Marta Jofra



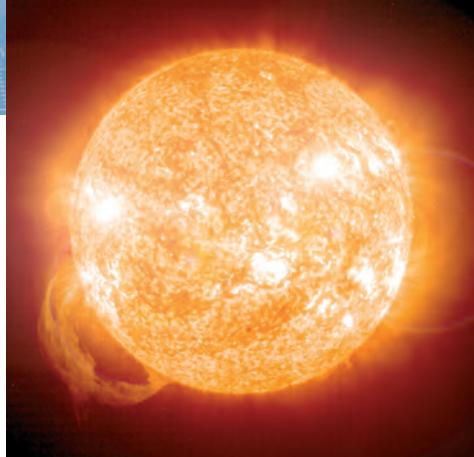
ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

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 recubriendola 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”.

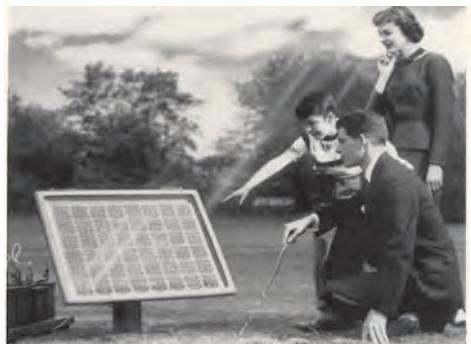
La primera célula fotovoltaica de silicio fue descrita por R. S. Ohl en el año 1941. Pero los primeros dispositivos fotovoltaicos no se empezaron a fabricar hasta la década posterior. Fueron otras investigaciones las que hicieron posible que se abandonara el selenio y se empezara a utilizar el silicio 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 la 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 60W/m^2 , 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 "Atomas 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-



Something New Under the Sun. It's the Bell Solar Battery, made of thin discs of specially treated silicon, an ingredient of common sand. It converts the sun's rays directly into usable amounts of electricity. Simple and trouble-free. (The storage batteries beside the solar battery store up its electricity for night use.)

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 searching for the secret of the sun.

For it is known that the same kindly rays 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 invented at the Bell Telephone Laboratories after

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

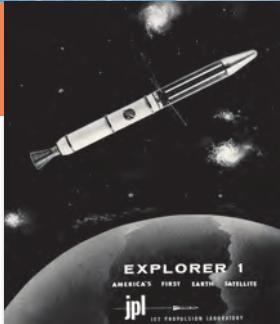
There's still much to be done before the battery's possibilities in telephony and for other uses are fully developed. But a good and pioneering start has been made.

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

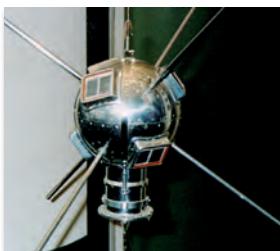
BELL TELEPHONE SYSTEM



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 Pearson, 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.).

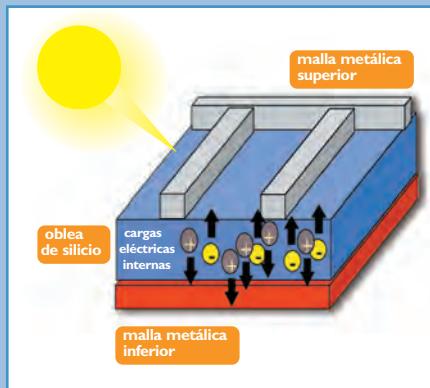
¿CÓMO FUNCIONAN LAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS?

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.

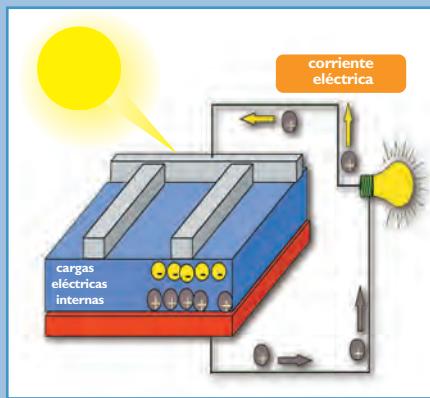
Una célula fotovoltaica sólo puede generar electricidad cuando se cumplen tres condiciones:

- 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 prototípico en la isla de Córcega, donde ella vivía, y luego el primer sistema de bombeo solar FV en África. 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.

© SolarEdia GmbH



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 1 MWp de células es actualmente del orden de 15,3 toneladas, y se espera que en el año 2010 se reduzca a 10 tn/MWp.



Los distintos tonos de los cristales de silicio son perfectamente visibles en las células policristalinas, que se distinguen bien de las monocristalinas, a la izquierda.



© Nharmida



© rofoton

Existen células de silicio monocristalino, polícrstalino y amorfo. Las monocrstalinas se fabrican a base de lingotes puros de silicio (los mismos que los utilizados en la fabricación de chips electrónicos). Las polícrstalinas 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, 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.). En los últimos años se han desarrollado dos nuevas tecnologías a base de silicio: el silicio en bandas (tiene la particularidad de ser flexible) y la película de silicio.

Otras tecnologías prometedoras son las nuevas capas delgadas que representan una al-

ternativa 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. En cambio las segundas parecen mucho más prometedoras.

A parte 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 más adecuados para lugares soleados, ya que las len-



© Sacramento Municipal Utility District

Producción de células fotovoltaicas en 2005 (MW_P)

Alemania	347	68%
España	70	14%
Francia	33	6%
Noruega	20	4%
Italia	12	2%
Bélgica	12	2%
Suiza	12	2%
Rusia	3	1%
Otros	5,7	1%
TOTAL EUROPA	515,3%	100%
Japón	824,3	46%
Europa	513,3	28%
Estados Unidos	154,8	9%
China	150,7	8%
India	26,6	1%
Australia	35,3	2%
Otros	110,7	6%
TOTAL MUNDO	1.815,7	100%

Fuente: Photon International.

Potencia fotovoltaica instalada en la UE (MW_P)

	En 2004	Acumulado hasta 2004
Alemania	503	794
Países Bajos	5,6	47,7
España	10,5	36,9
Italia	5	30,3
Francia	5,2	20,1
Austria	2,3	19,8
Reino Unido	2,3	7,8
Grecia	1,3	4,5
Portugal	0,6	2,2
Bélgica	0,3	1,4
TOTAL UE	540	1.003 MW

Fuente: IDAE/EurObserv'ER

A la izquierda, 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.

Abajo, central de Sonnen (Alemania), con 1,75 MW instalados.



© iStock/IC

Grandes instalaciones solares fotovoltaicas

	LOCALIZACIÓN	AÑO CONSTR.	POTENCIA (MW)
■ Moura	Moura, Portugal	2007	62
■ Trujillo	Cáceres, España	2006	20
■ Mühlhausen	Baviera, Alemania	2005	6,3
■ Espenhain	Leipzig, Alemania	2004	5
■ Hemau	Baviera, Alemania	2002	4
■ SMUD Rancho Seco	Sacramento, EEUU	varios	3,9
■ Passau	Baviera, Alemania	2006	3,3
■ Floriade	Amsterdam, Holanda	2002	2,3
■ Mering	Alemania	2006	1,7
■ Montes de Cierzo	Navarra, España	2002	1,2
■ Carmona	Sevilla, España	2006	1,2
■ Munich Trade Fair II	Munich, Alemania	2002	1
■ Munich Trade Fair I	Munich, Alemania	1997	1

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 (final del año 2005) es la siguiente:

■ **Total mundial: 1.815,7 MW**

■ **Silicio cristalino: 90,6%**

■ **Silicio amorfo: 4,7%**

■ **Teluro de cadmio: 1,6%**

■ **Cobre selenio indio: 0,2%**

■ **Otras tecnologías: 2,9%**

■ **Total España: 70 MW**

■ **Silicio cristalino: 100%**

La producción geográfica de células fotovoltaicas en el mundo (2005) son:

■ **Japón: 824,3 MW (46%)**

■ **Europa: 515,3 MW (28%)**

■ **Estados Unidos: 154,8 MW (9%)**

■ **China: 150,7 MW (8%)**

■ **Resto del mundo: 172,6 MW (9%)**

Los principales fabricantes de células fotovoltaicas en el mundo (2005) son:

■ **Sharp: 428 MWp (24,8% del mercado)**

■ **Q-Cells: 160 MWp (9,3%)**

■ **Kyocera: 142 MWp (7,2%)**

■ **Sanyo: 125 MWp (7,2%)**

■ **Mitsubishi: 100 MWp (5,8%)**

■ **Schott Solar: 95 MWp (5,5%)**

■ **BP Solar: 90 MWp (5,2%)**

■ **Suntech: 80 MWp (4,6%)**

■ **Motech: 60 MWp (3,5%)**

■ **Shell Solar: 59 MWp (3,4%)**

■ **Isofotón: 53 MWp (3,1%)**

Mercado fotovoltaico mundial por aplicación (2005):

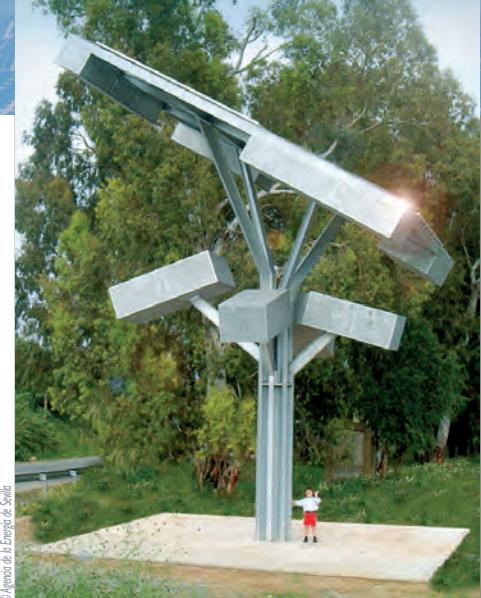
■ **Conexión a red: 82%**

■ **Remoto viviendas: 8%**

■ **Remoto industrial: 7%**

■ **Remoto otros: 2%**

■ **Productos de consumo
(relojes, calculadoras...): 1%**



© Agencia de la Energía de Sevilla

tes o los espejos deben “ver” el Sol, para seguirlo y concentrarlo continuamente sobre la célula. Empezaron a desarrollarse en los años 70 y últimamente ha renacido el interés por ellos.

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 Antimoníuro 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 eficiencia.





ciencias 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 fríos. 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

El mercado mundial de células fotovoltaicas creció una media del 20% entre 1990 y 2000. Ese crecimiento superó el 30% desde 1997, y llegó al 44% en 2005, hasta alcanzar los 1.815 MW. Ya en el año 2000 se superó la cifra de 1.000 MWp de potencia instalada en el mundo y actualmente ya supera los 5.000 MWp. En los países en vías de desarrollo hay más de medio millón de viviendas que disponen de energía eléctrica gracias a sistemas solares fotovoltaicos.

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 Floraide dispone de 25.100 m² de captación solar, o sea 19.000 paneles FV, con una potencia de 2,3 MWp. El 31 de diciembre del año 2002 se acabó de construir la mayor instalación FV del mundo en Hemau (Baviera), una de las zonas más sole-





Foto © EHN

adas de Alemania: consta de 32.740 paneles, ocupa 7 hectáreas y tiene una potencia de 4 MWp. La instalación es propiedad de cientos de inversores con diferentes porcentajes de participación y responsabilidad limitada.

Hace apenas unos años estas instalaciones podrían parecer gran cosa, pero en Trujillo (Cáceres), la empresa española Elecnor construye un parque de 20 MW. Y en la localidad portuguesa de Moura, otra empresa española, Acciona, iniciará en 2007 las obras de una planta de 60 MW.

LA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

En España había a finales de 2005 unos 67 MWp fotovoltaicos, de los que 22 corresponden a instalaciones aisladas y 45 a las que están conectadas a red. A pesar de que el ritmo de nuevas instalaciones ha crecido en los últimos años, no será fácil alcanzar el objetivo del Plan de Energías Renovables para el 2010: 400 MW. Por comunidades autónomas, Navarra, con 11,6 MW, ocupa el primer puesto, seguida de la Comunidad Valenciana (5,4), Madrid (4,7), Cataluña (3,3) y Castilla y León (2,6 MW).

Desde 2001 hasta ahora la capacidad de módulos fotovoltaicos de los fabricantes españoles ha crecido un 57% cada año de media. El mercado de instalación ha aumentado un 53% anual y los empleos en el sector un 30%. En cambio, el precio del vatío pico instalado (para instalaciones de entre 30 y 100 kWp) ha bajado de 7 a 6 euros durante este tiempo, lo que supone un descenso del 3,8%.

España es el quinto fabricante del mundo, tras Japón, Alemania, Estados Unidos y China, y cuenta con tres fabricantes –BP Solar, Isofotón y Atersa– que suponen una cuota del 4% del mercado mundial. Y su dinamismo industrial sigue creciendo porque en 2007 comenzará a producir polisilicio en Puertollano. E Isofotón ya ha anunciado su intención de construir una fábrica, que estará operativa en 2008, para transformar el silicio metalúrgico en polisilicio, el material del que se fabrican las células.

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



Foto: © EHN

ción de 100.000 sistemas solares domésticos, con una potencia de 10 MWp en el año 2010.

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.

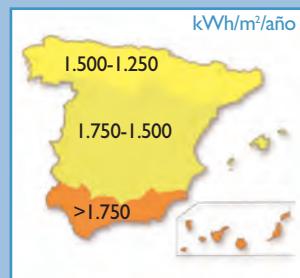
SISTEMAS CENTRALIZADOS VERSUS DESCENTRALIZADOS

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

La radiación solar en España



- Zona 1 - media anual <1.450 kWh/m².
- Zona 2 - media anual >= 1.450 y <= 1.680 kWh/m².
- Zona 3 - media anual >1.680 y <= 1.825 kWh/m².
- Zona 4 - media anual >1.825 y <= 2.500 kWh/m².



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



dad 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. Muchos años más tarde, en 1978, la petrolera Shell decía que, “en nuestra opinión, la generación de energía eléctrica, en forma dispersa, a partir de la captación solar FV –en centros comerciales, fábricas, viviendas familiares y edificios de viviendas– proporciona la temprana oportunidad de contribuir a nuestro suministro de energía”. La revista Science, en 1977, sugería al Gobierno de Estados Unidos que prestase más atención a los dispositivos 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.

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 inno-

vadora 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 1 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 100 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 1 MWp en la Puebla de Montalbán (Toledo) en junio de 1999. Más recientemente, el 21 de enero de 2003, se inauguró una central FV de 1,2 MWp de potencia en Montes de Cierzo, cerca de Tudela (Navarra), promovida por lo que

Potencia fotovoltaica instalada a finales de 2004 (en kWp)



Potencia fotovoltaica instalada a fin de 2005 (MW)

Conectada a red	22
Aislada	8 (estimación)
TOTAL	30

(Objetivo del Plan de Energías Renovables para 2010: 400 MW)

Fuente: IDAE y ASIF

antes era EHN y ahora es Acciona. Dicha central abarca una extensión de 70.000 m² 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, 1,2 MWp se inauguró en Carmona (Sevilla) en octubre de 2006. Y en 2007 se inicia la construcción de dos plantas que podríamos calificar de gigantescas: una de 20 MW en Trujillo (Cáceres) promovida por Elecnor. Y otra de 60 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 ventas 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



Foto © TFM

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.

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 trabajar para convertirlo en realidad. Así empezó el novedoso programa PV Pioneer de la SMUD, que instaló en tejados 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. En la actualidad, en Sacramento está funcionando el programa PV Pioneer II, que tiene como objetivo instalar 5 MWp entre los años 2001 y 2007.

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.

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.

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 FV 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 cristalizado, 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 rendi-



miento) 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 edifi-

cio, y 7 MWh/mes en los meses fríos, utilizados en el precalentamiento de aire para el sistema de calefacción.

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





© ASU

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 2001 (16 billones de kWh), se necesitaría una superficie de 160.000 km² (suponiendo un promedio de generación solar de 100 kWh/m².año), que comparada con la superficie terrestre de nuestro planeta, 132 millones de km², representa un 0,12% 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 combusti-



bles 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 teados 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 82%) 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 datos recientes de la Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF), en los últimos 4 años la industria solar fotovoltaica ha creado en España más de 7.000 puestos de trabajo. En Europa se prevé que en el año 2010 la industria FV genere 100.000 empleos, 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 44,1 MW_e en 2002.

© Naturmedio

Más información

- **Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica, EPIA**
www.epia.org
- **Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF)**
www.asif.org
- **DFS. Deutscher Fachverband Solarenergie**
www.dfs.solarfirmen.de
- **Instituto de Energía Solar**
www.ies.upm.es
- **International Solar Server**
www.solarserver.com
- **Mr. Solar**
www.mrsolar.com
- **Solar Buildings**
www.eren.doe.gov/solarbuildings
- **World Solar Challenge**
www.wsc.org.au

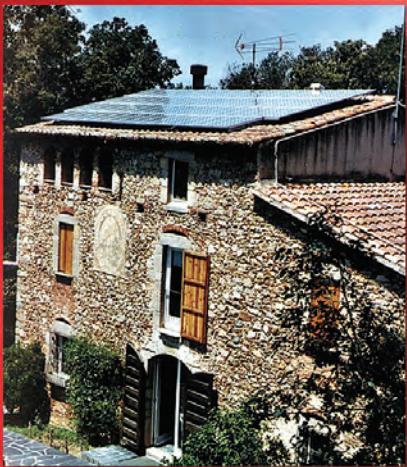
Créditos

“Energías Renovables para todos”
es una colección elaborada por
Haya Comunicación, editora de la revista
“Energías Renovables”
(www.energias-renovables.com),
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
- **Redacción de este cuaderno:**
Pep Puig, Marta Jofra.
- **Impresión:** Sacal

Energías renovables para todos

Las células fotovoltaicas obtienen directamente electricidad a partir de la luz solar. La primera célula se fabricó a mediados del siglo XX, y desde entonces numerosas empresas en todo el mundo han dedicado ingentes recursos a esta tecnología para abaratar su fabricación y mejorar su eficiencia, lo que se consigue año tras año. La mayor parte de las células se fabrican a partir de silicio cristalino, aunque se investiga con nuevos materiales.



Energy Management Agency

Intelligent Energy Europe