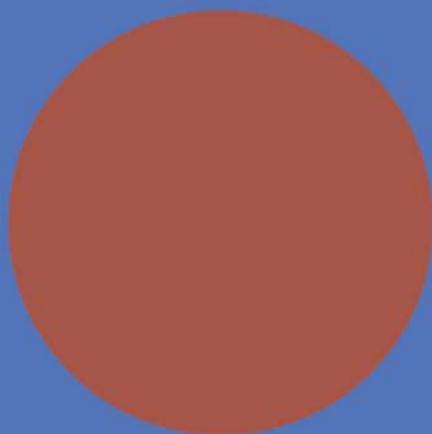
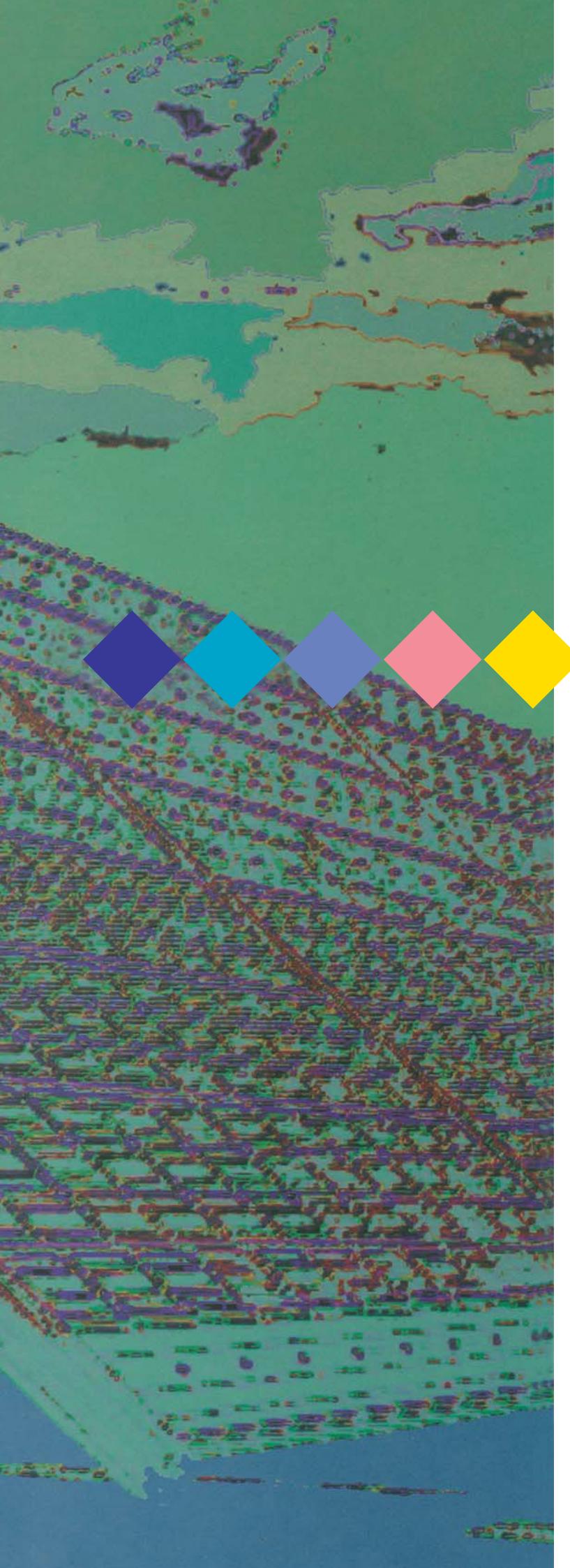


# ENERGÍA SOLAR

EL RECORRIDO DE LA ENERGÍA





Dirección General de Industria,  
Energía y Minas  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA  
E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

**Comunidad de Madrid**

# contenido

El Sol

Descripción de la tecnología

Aplicaciones de la energía solar

Situación de la energía solar  
en la Comunidad de Madrid

Aspectos ambientales, económicos y legales

Instalaciones solares  
en la Comunidad de Madrid

EDICIÓN PARA LA COMUNIDAD DE MADRID

DIRECCIÓN: Carlos López Jimeno

Director General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

EQUIPO DE TRABAJO: Jorge Iñesta Burgos

Pedro Antonio García Fernández

© Comunidad de Madrid

Consejería de Economía e Innovación Tecnológica

Dirección General de Industria, Energía y Minas

Esta edición ha contado con el soporte de los programas europeos ALTENER y SAVE, de la Dirección General de Energía (DG XVII), de la Comisión Europea y la colaboración del Centre International des Energies Nouvelles CIEN, y está basada en la obra elaborada por el Instituto Catalán de Energía del Departamento de Industria, Comercio y Turismo de la Generalitat de Cataluña, que fue redactada por las siguientes personas:

DIRECCIÓN: Albert Mitjà,

Director del ICAEN

EQUIPO DE TRABAJO: Joan Josep Escobar

Nuria Reol

Cristina Castells

Xavier Martí

Yolanda Larruy

Pilar Chiva

PRIMERA EDICIÓN: 2002

TIRADA: 1.700

EDITOR: E.i.S.E. Domènech, S.A.

DISEÑO: Vicenç Cegarra

MAQUETACIÓN: Tumar Autoedición, S.L.

IMPRESIÓN: Tallers Gràfics Soler, S.A.

DEPÓSITO LEGAL: B-41679-2002

Entre las diversas fuentes de energías renovables, la radiación solar es la principal y la más abundante. Históricamente, en el mundo, el Sol ha sido una de las principales fuentes de energía utilizada por los hombres para producir calor, sea de una manera directa, indirecta, natural o artificial. Ésta es la denominada energía solar térmica. Más recientemente, a partir de los programas espaciales de los años cincuenta, se ha desarrollado otra tecnología de aprovechamiento solar: la energía solar fotovoltaica, que transforma la radiación solar en electricidad.



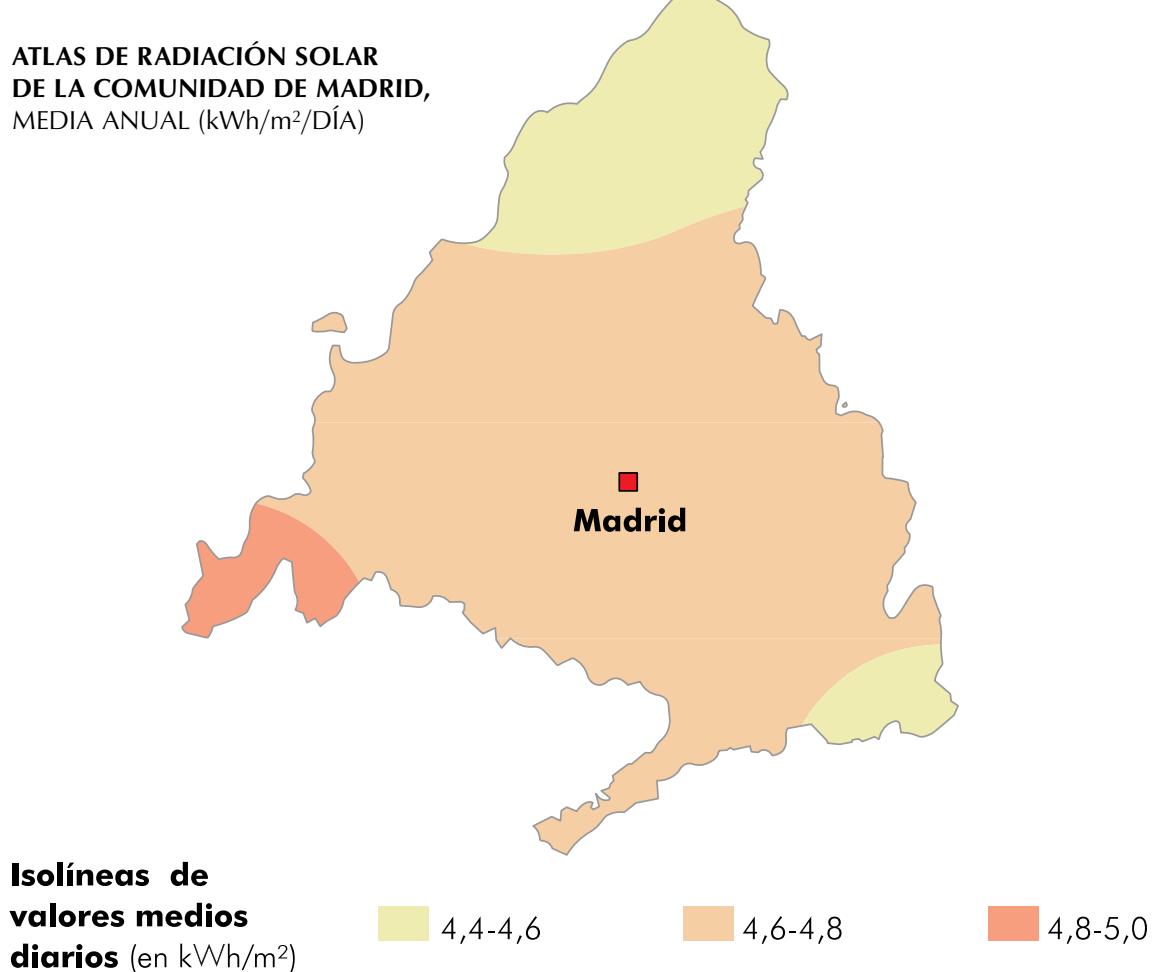
# ◆ EL SOL

Nuestro planeta recibe del Sol una cantidad de energía anual de aprovechamiento de  $5,4 \times 10^{24}$  J, cifra que representa 4.500 veces la energía que se consume. Incluso con su abundancia, el aprovechamiento de la radiación solar está condicionado principalmente por tres aspectos: la intensidad de radiación recibida por la Tierra (cantidad de energía por unidad de tiempo y superficie), los ciclos diarios y anuales (día y noche, y estaciones del año) a los que está sometida, y las condiciones climáticas (horas de sol anuales) de cada emplazamiento.

En general, el término “radiación solar” hace referencia a los valores de irradiación global, es decir, la cantidad de energía recibida por

unidad de superficie en un tiempo determinado (medida en  $\text{W/m}^2$ ). Estos valores, normalmente, hacen referencia a la energía que proviene directamente del disco solar (radiación directa) y a la energía que, difundida por la atmósfera, proviene del resto del cielo (radiación difusa).

Las pérdidas en la atmósfera por reflexión, absorción y dispersión reducen el valor de la radiación solar que llega a la Tierra en un 30%. Así, la intensidad de radiación que se recibe en la superficie de la Tierra se sitúa alrededor de 1.000  $\text{W/m}^2$ , siendo las condiciones climatológicas las que condicionan los valores de radiación finalmente recibidos.



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología.

# ◆ DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Podemos hablar de dos tipos de aprovechamiento de la energía solar: el que se utiliza para producir energía térmica (básicamente, agua caliente sanitaria y calefacción), y el que convierte la radiación solar en electricidad mediante la denominada tecnología fotovoltaica.

Finalmente, hay que considerar también la posibilidad de hacer un uso más global de la radiación solar en la construcción de edificios. Recibe el nombre de arquitectura bioclimática, y tiene en cuenta la luz natural y las condiciones climatológicas de cada emplazamiento para la construcción de nuevas viviendas.

## LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Las instalaciones solares térmicas consisten en un sistema de captación de la radiación que proviene del Sol (el captador solar), un sistema de almacenamiento de la energía térmica obtenida (el depósito acumulador) y un sistema de distribución del calor y del consumo. Las aplicaciones más extendidas y conocidas son las de baja temperatura, es decir, las que proporcionan calor a temperatura inferior a 100°C. A continuación, se describen los principales componentes de este tipo de instalaciones.

### El captador solar térmico

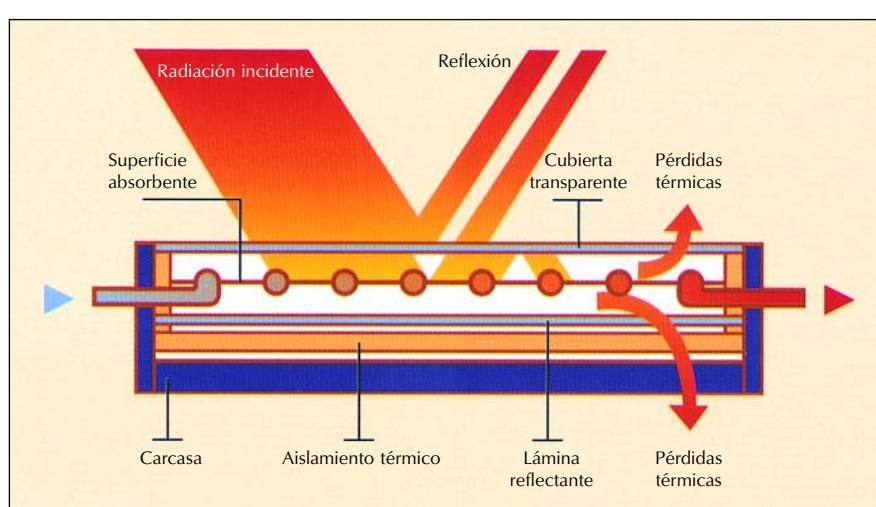
El captador plano de cubierta vidriada es el tipo de captador que, hasta ahora, ha tenido más difusión. Su funcionamiento está basado en el efecto invernadero, es decir, capta la radiación solar en su interior, la transforma en energía térmica y evita la salida al exterior.

Los principales elementos que configuran un captador solar con cubierta vidriada son:

- Cubierta transparente
- Superficie absorbente
- Tubos de circulación
- Material aislante

La radiación solar, al llegar al captador, atraviesa la cubierta transparente e incide en la superficie absorbente, que capta esta radiación y la transmite, en forma de energía térmica, al fluido que circula. Normalmente, este fluido es agua con un líquido anticongelante, aunque también puede ser aire, en los llamados captadores de aire, que normalmente se utilizan para la calefacción.

Como norma general, los captadores se tienen que instalar orientados al Sur para captar la máxima radiación solar, y su inclinación respecto al plano horizontal tiene que ser igual a la latitud del emplazamiento.



## Depósito acumulador

Sirve para acumular la energía en los momentos del día en que es posible, y utilizarla cuando se produce la demanda. En instalaciones pequeñas, es posible incorporar el acumulador en la parte superior del captador: son los equipos llamados termosifones, que aprovechan la circulación del agua por diferencia de temperaturas (convección).

## Sistema de distribución del calor y del consumo

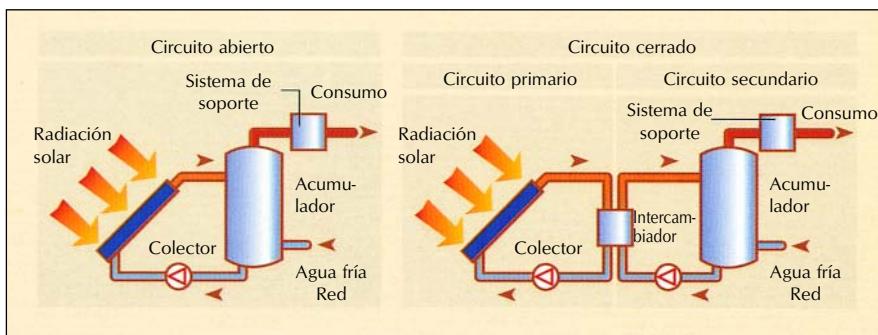
Consta de un sistema de control y gestión de las instalaciones, tuberías y conductos, bombas para hacer circular los fluidos, purgadores de aire y diversas válvulas.

## Sistema de soporte

Para suplir posibles períodos sin sol, las instalaciones solares térmicas incorporan un sistema convencional de calentamiento de agua, que sólo se usa cuando la energía recibida en los colectores no es suficiente.

Las instalaciones solares térmicas se pueden hacer como circuitos abiertos o como circuitos cerrados, según si la misma agua que circula por los captadores solares es agua de consumo o no.

Las instalaciones de circuito abierto son más simples, pero presentan el inconveniente del peligro de heladas, corrosiones o incrustaciones en el captador. En los sistemas de circuito cerrado no hay mezcla entre el líquido que circula por los captadores (circuito primario), al cual se añade un anticongelante, y el agua destinada al consumo (circuito secundario).



Esquema de instalación solar de baja temperatura: circuito abierto y circuito cerrado.

# LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, la transformación directa de la energía lumínica procedente del Sol en energía eléctrica. Para conseguir esta conversión son necesarios unos dispositivos llamados células solares.

## La célula solar

La célula solar es un semiconductor donde, artificialmente, se ha creado un campo eléctrico permanente, con lo cual, cuando se expone la célula solar al Sol, se produce la circulación de electrones y la aparición de corriente eléctrica entre las dos caras de la célula. Entre los diversos materiales semiconductores utilizados para la fabricación de células solares fotovoltaicas, el más usado es el silicio (monocristalino, policristalino o amorfo), que dopado (contaminado artificialmente) por un elemento determinado, como el fósforo, constituye una capa de semiconductor denominada "n" (con exceso de carga negativa), o bien constituye una capa denominada "p" (con exceso de carga positiva) si está dopado por otro tipo de elemento, como el boro. La unión de estas dos capas (unión p-n), provista de los contactos eléctricos adecuados, que hace posible la aparición de corriente eléctrica cuando hay una que está iluminada (la n), forma una célula solar. La potencia nominal de las células normalmente se mide en vatios pico (W<sub>p</sub>), que es la potencia que puede proporcionar la célula con una intensidad de radiación constante de 1.000 W/m<sup>2</sup>. Por ejemplo, la instalación de 10 W<sub>p</sub> suministraría una potencia de 10 W, con una radiación de 1.000 W/m<sup>2</sup>. Una célula individual normal tiene una superficie de unos 75 cm<sup>2</sup> y una potencia nominal cercana a 1 W<sub>p</sub>, lo que significa que, con una radiación de 1.000 W/m<sup>2</sup>, proporciona valores de tensión de unos 0,5 voltios y corriente de unos 2 amperios.

Para obtener potencias utilizables por aparatos de media potencia, hay que unir un cierto número de células en lo que se denomina placa fotovoltaica. Estas placas suelen contener entre 20 y 40 células para producir corriente continua de 12 ó 24 voltios, y proporcionar una potencia entre 50 y 100 W<sub>p</sub>.

Para optimizar el rendimiento de las placas, hay que orientarlas al Sur, con una inclinación que depende de la latitud y la época del año.

Otros componentes de una instalación solar fotovoltaica son:

## Acumuladores

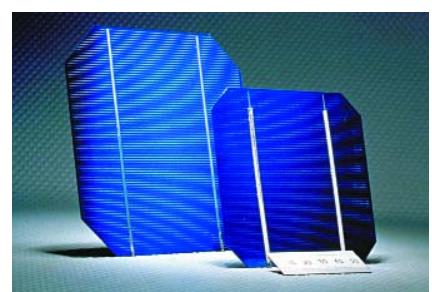
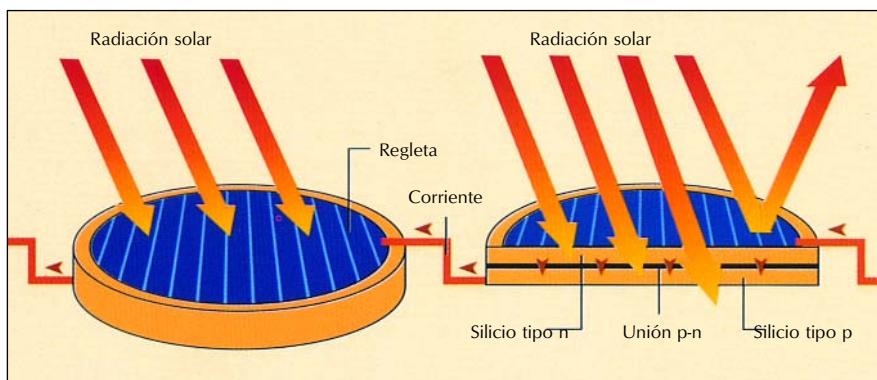
Sólo se usan en caso de instalaciones autónomas, no conectadas a la red eléctrica. Normalmente, son baterías con períodos de descarga largos.

## Reguladores de carga

Su función, en instalaciones autónomas, es proteger los acumuladores contra la sobrecarga y la descarga excesiva. En caso de sobrecarga de baterías, pone las placas en cortocircuito y corta el paso de la corriente de las baterías. En caso de descarga excesiva, o bien avisa al consumidor con una alarma, o bien corta el suministro si el consumo continúa.

## Inversor

Transforma la corriente eléctrica (12 ó 24 V) generada por la instalación fotovoltaica en corriente alterna, para poder utilizar los aparatos de consumo más habituales en instalaciones autónomas, o para poder liberar energía a la red eléctrica en instalaciones conectadas.



# ◆ APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR

## APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Las principales aplicaciones solares térmicas a baja temperatura son la producción de agua caliente sanitaria (duchas, cocinas, etc.) y la calefacción de viviendas y piscinas. En general, en una misma instalación, estas aplicaciones no se suelen presentar individualmente, sino combinadas.

### Producción de agua caliente sanitaria (A.C.S.)

Es la aplicación más rentable de la energía solar, porque la instalación está en servicio durante todo el año (al contrario de lo que pasa con la calefacción). Normalmente, las instalaciones no se dimensionan para resolver el 100% de las necesidades de agua caliente, ya que la superficie exigida en invierno, cuando hay menos radiación, daría lugar a la construcción de grandes instalaciones difícilmente amortizables.

Lo más común es combinar la instalación solar con un sistema de calentamiento convencional (a gas, eléctrico...). Así, el dispositivo solar sólo resuelve una parte del consumo de energía para producción de agua caliente sanitaria (el que se denomina fracción solar).



### Calefacción

La calefacción de un local se puede hacer mediante la introducción de aire caliente en su interior, o bien mediante elementos calefactores, por dentro de los cuales circula agua caliente. El aprovechamiento de la radiación solar para la calefacción de locales presenta la misma división: se pueden usar captadores de aire o captadores de agua.

En este último caso, no es adecuado utilizar radiadores convencionales, ya que necesitan agua a 80-90°C, mientras que los captadores solares planos trabajan en un rendimiento aceptable, dando agua a 50°C. Entonces, hay que utilizar otros sistemas de calefacción como:

- Suelo radiante (circulación de agua por unas tuberías situadas bajo el pavimento de los locales)
- Radiadores sobredimensionados (superficie del radiador mucho más grande que los convencionales, para poder ceder el mismo calor con caudal de agua a una temperatura inferior).
- Fan-coils o convectores (grupo de tubos por donde circula el agua y que está atravesado por una corriente de aire que se calienta y que se distribuye por el ambiente).

### Calentamiento de piscinas

El consumo de energías convencionales para el calentamiento de piscinas está permitido por ley sólo cuando están situadas en locales cerrados. Para piscinas al aire libre, la energía solar térmica es la opción más adecuada.

Se pueden usar sistemas de circuito cerrado (cuando se combina la generación de agua caliente sanitaria o calefacción con captadores solares planos), o circuito abierto (para usos sólo en época estival, se pueden usar captadores de caucho o plástico, más económicos que los planos).

# APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los sistemas solares fotovoltaicos se pueden dividir en dos grandes grupos:

## Sistemas autónomos de la red eléctrica

La energía eléctrica generada se utiliza para pequeños consumos en el mismo lugar donde se produce la demanda.

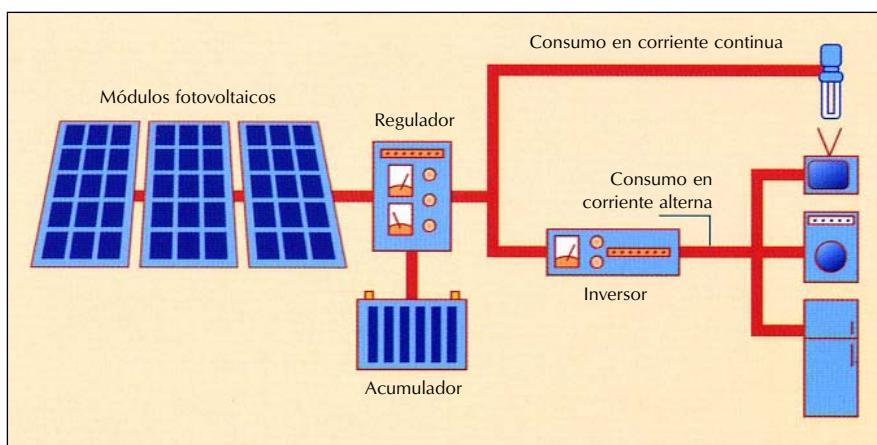
Las aplicaciones más comunes son:

- Electrificación de viviendas alejadas de la red eléctrica
- Aplicaciones agrícolas y de ganado (bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos y granjas...)
- Señalización y comunicaciones (navegación aérea y marítima, señalización de carreteras, repetidores...)
- Alumbrado público (calles, monumentos, paradas de autobús...)
- Sistemas de depuración de aguas

En estas aplicaciones, para poder disponer de electricidad durante la noche o en períodos de baja insolación, es necesaria una batería de acumulación, con el correspondiente controlador de carga. Cuando es necesaria la corriente alterna, se utiliza un inversor.

Estos sistemas deben tener una dimensión suficiente para satisfacer la totalidad de las necesidades energéticas, siempre que no haya un sistema de soporte convencional, como un grupo electrógeno de gasóleo. Se recomienda utilizar electrodomésticos de bajo consumo y alto rendimiento.

Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo.



## Sistemas conectados a la red eléctrica

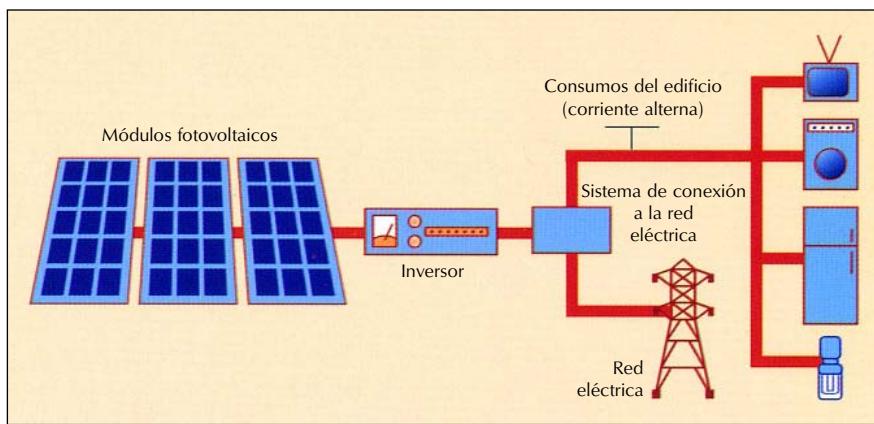
El sistema fotovoltaico se conecta a la red eléctrica y un inversor transforma la corriente continua, generada por el sistema, en corriente alterna análoga a la de la red. Hay dos tipos de aplicaciones principales:

- Centrales fotovoltaicas, donde toda la energía producida se inyecta en la red eléctrica.
- Sistemas integrados en edificios, donde la energía producida satisface una parte de la demanda eléctrica del edificio en las horas de gran consumo, y la que sobra en las horas de bajo consumo, se vende a la red eléctrica. De noche, o siempre que la producción fotovoltaica sea inferior a la demanda eléctrica, la red suministra la diferencia. Para contabilizar la energía vendida y comprada a la red, es necesario instalar dos contadores, uno de exportación y otro de importación.

En este tipo de aplicación, es muy importante que la instalación quede bien integrada al edificio.

En algunos casos, los paneles fotovoltaicos pueden llegar a suplir una parte de los elementos de construcción del edificio, produciendo un ahorro adicional.

El objetivo de estas instalaciones en edificios no es tanto proporcionar todos los consumos eléctricos que se dan, como aprovechar las posibilidades arquitectónicas que tanto los techos como las fachadas ofrecen para instalar captadores fotovoltaicos y reducir, de esta manera, la compra de energía a las redes eléctricas comerciales.



Esquema de un sistema fotovoltaico en un edificio conectado a la red eléctrica.



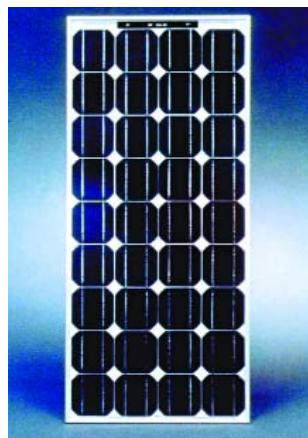
# SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA SOLAR EN LA COMUNIDAD DE MADRID

## Situación de la energía solar térmica

La instalación de colectores térmicos para la producción de agua caliente sanitaria en hoteles y grandes complejos de apartamentos, y el esfuerzo realizado en operaciones de demostración de sistemas de calentamiento de aire para secadoras agrícolas o industriales, que no han obtenido los resultados esperados a causa, principalmente, de la evolución de estos sectores de actividad, son las actuaciones más destacadas de los últimos años.

La superficie total instalada en el año 1999 ha obtenido un valor de 53.861 m<sup>2</sup>, con un crecimiento entre los años 1983 y 1999 del 407%, y en el año 1999 tenía una capacidad de producción superior a las 3,5 Mtep. Nos consta que algunas de las instalaciones, fundamentalmente las de los primeros años, se han desmontado, no son operativas y han sustituido las placas colectoras, por lo cual queda pendiente la labor de revisión de estos valores a la baja.

En la Unión Europea, la valoración es que hay 6,5 millones de metros cuadrados instalados, la mayoría en Grecia, Alemania, Austria y España. Actualmente, el mercado anual de ventas de colectores se sitúa en más de 600.000 m<sup>2</sup> al año.



## Situación de la energía solar fotovoltaica

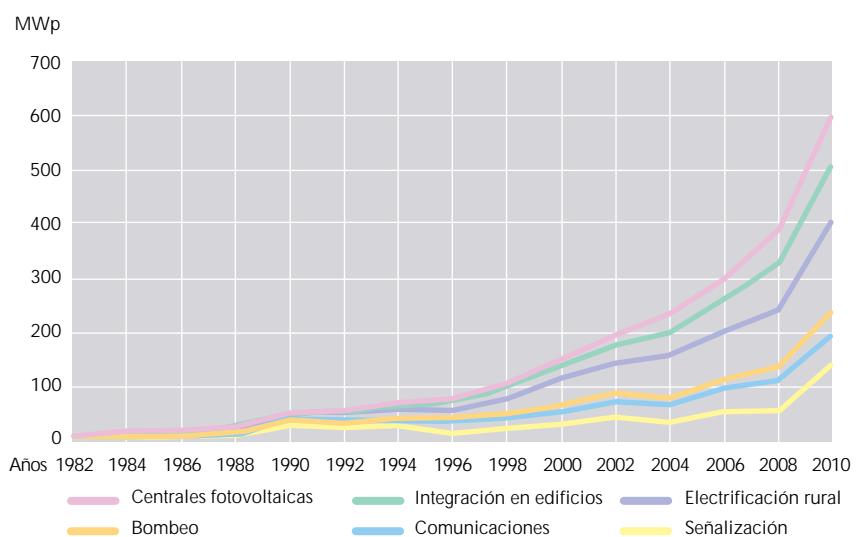
Datos extraídos del libro "Energía Solar Fotovoltaica en la Comunidad de Madrid" (Pág. 17). (ASIF, Cámara de Madrid y Consejería de Economía y Empleo). 2001.

La Comunidad de Madrid cuenta con una de las mayores y más modernas fábricas de paneles de BP Solar, con instalaciones situadas en Alcobendas y San Sebastián de los Reyes, que aporta cerca del 5% de la producción mundial y exporta más del 80% de lo fabricado, tanto a países desarrollados, como en vías de desarrollo. Además se ha iniciado la construcción en Tres Cantos de una nueva planta de fabricación de células, que comenzará su operación en el 2002 y será la fábrica más grande de Europa, con una capacidad total de producción de 100 MW, utilizando la tecnología más avanzada de células de alta eficiencia.

También existen en nuestra Comunidad más de 30 empresas de gran prestigio dedicadas a la ingeniería, instalación y desarrollo de proyectos fotovoltaicos. La Comunidad de Madrid ocupa una posición destacada a escala nacional, europea y mundial. Hasta finales del año 2001, la potencia instalada es superior a 1 MWp, que es equivalente a la necesaria para cubrir el consumo eléctrico de unas 300 familias medianas madrileñas.

Por lo tanto, se puede afirmar que la Comunidad de Madrid está preparada y presenta un gran potencial para el desarrollo e implantación de esta tecnología energética limpia, y su positiva evolución repercutirá también directamente en el nivel científico e industrial de la región.

EVOLUCIÓN Y PREVISIONES DE CRECIMIENTO DE LA POTENCIA FOTOVOLTAICA INSTALADA EN EL MUNDO SEGÚN TIPOS DE APLICACIONES



# ◆ ASPECTOS AMBIENTALES, ECONÓMICOS Y LEGALES

El desarrollo y la implantación a gran escala de la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, contribuye a la conservación del medio ambiente y a la mejora de la calidad de vida en las ciudades y en el medio rural, porque:

- Las instalaciones solares producen energía a partir de un recurso renovable y disponible en todo el mundo y, por tanto, evitan el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles.
- No generan emisiones contaminantes de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que se producen en las centrales de producción de energía convencionales y, por tanto, contribuyen a alcanzar los objetivos marcados en el Protocolo de Kyoto sobre la reducción de emisiones contaminantes.
- No producen ruidos ni humos, no exigen sofisticadas medidas de seguridad y no producen residuos difíciles de tratar o eliminar.
- Se acercan los centros de producción de energía a los centros de consumo; por tanto, se elimina la necesidad de grandes infraestructuras de transmisión (como líneas eléctricas), con los impactos ambientales que comportan.

No obstante, aunque posee estos rasgos positivos, no hay que olvidar que las instalaciones solares, como cualquier otra instalación, tienen que seguir una serie criterios para minimizar los impactos ambientales. Un aspecto importante, tanto en la tecnología térmica como en la fotovoltaica, es que en la mayoría de los casos las instalaciones van incorporadas a los edificios. Tanto si se trata de un edificio de nueva planta como uno ya existente, es necesario minimizar el impacto visual de las partes más visibles de la instalación (los captadores), mediante la integración de los componentes solares en la estructura del edificio.

En el caso de las instalaciones solares fotovoltaicas autónomas, es decir, que usan baterías de acumulación, es muy importante asegurar la gestión, la recogida y el tratamiento correctos cuando se agotan al final de su vida útil, ya que contienen elementos que pueden ser perjudiciales para el entorno.



En cuanto a los aspectos económicos, la energía solar térmica es una tecnología a un precio asequible y, gracias a la continuada bajada de precios, se está acercando a la rentabilidad económica. Esta rentabilidad depende de:

- La inversión necesaria, la parte más importante de la cual corresponde a los captadores solares.
- Posibles subvenciones a las que se pueda acceder (de ámbito estatal, regional o local).
- La cantidad de energía producida, que depende de las condiciones climatológicas y el consumo.
- El tipo y precio de la energía que se sustituye.

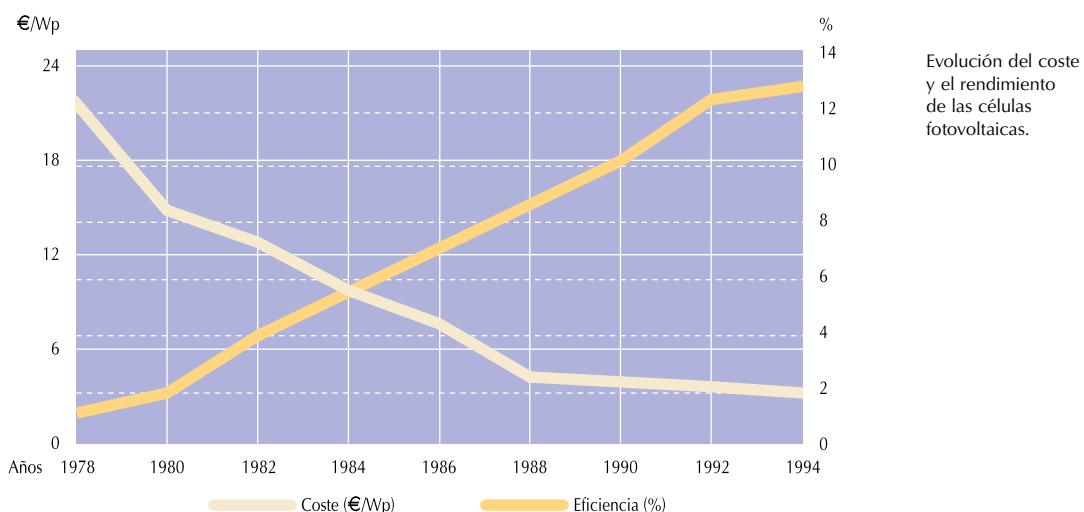
Para una vivienda unifamiliar, una instalación solar térmica de unos 2m<sup>2</sup> de captadores puede costar alrededor de 1.500 €, y puede evitar la emisión de una tonelada de CO<sub>2</sub> al año a la atmósfera. Para instalaciones colectivas, como hoteles, hospitales, polideportivos, etc., el precio por metro cuadrado instalado puede oscilar entre 390 y 600 € (este precio incluye, no sólo los captadores, sino también los otros elementos, como depósitos, tuberías, bombas...).

El precio de la tecnología solar fotovoltaica ha bajado espectacularmente en los últimos años, hecho que ha provocado un crecimiento de la demanda en el mercado mundial. Además, se está investigando en el aumento de la eficiencia de las células, que reduciría todavía más el precio por Wp instalado.

La rentabilidad de estos sistemas depende de los mismos factores nombrados para la energía solar térmica y, además:

- En el caso de la electrificación rural, de la comparación con el coste de extensión de la red eléctrica.
- En el caso de sistemas conectados a la red eléctrica, el precio de compra de la energía excedente que pague la compañía eléctrica. Este precio, marcado oficialmente por el Real Decreto 2818/1998, se beneficia de unas primas muy importantes que tienen como objetivo promocionar este tipo de sistemas.

En referencia a aspectos legislativos y administrativos, las instalaciones solares están sujetas a la normativa propia de las fuentes de energías renovables (como la homologación de equipos). Por otro lado, en el caso de instalaciones térmicas, están sujetas a la reglamentación de otras instalaciones convencionales de agua caliente sanitaria y calefacción, y en el caso de instalaciones productoras de electricidad, a la misma reglamentación que afecta a otros equipos y sistemas de autogeneración de energía eléctrica.



Año	Precio Wp instalado	Precio kWh producido
1978	21,16 €/Wp	3,91 €/kWh
1994	4,96 €/Wp	0,53 €/kWh
Previsión 2005	0,96 €/Wp	0,18 €/kWh



# INSTALACIONES SOLARES EN LA COMUNIDAD DE MADRID



## GLOSARIO

<u>Radiación difusa</u>	Radiación que llega a la superficie de la Tierra y que no proviene directamente del Sol, sino que es reflejada por la atmósfera que actúa de manera parecida a una pantalla de una lámpara con la luz de una bombilla.	<u>Semiconductor</u>	Sustancia intermedia entre los buenos conductores y los aislantes, y que es conductor de corriente en ciertas condiciones.
<u>Reflexión</u>	Cambio de dirección de la radiación solar debida a la atmósfera. Por este motivo, parte de la radiación solar que llega a la Tierra se devuelve al espacio exterior.	<u>Potencia nominal</u>	Potencia que desarrolla una máquina, funcionando al ritmo que el fabricante considera más adecuado.
<u>Absorción</u>	Parte de la radiación solar que retienen las partículas que forma la atmósfera.	<u>Grupo electrógeno</u>	Generador eléctrico que, con un motor de explosión, generalmente de tipo diesel, genera o produce electricidad en lugares donde no se dispone de conexión a la red general de energía eléctrica.
<u>Convección</u>	Transporte de energía calorífica que se da en los fluidos (líquidos y gases) que presentan diferencias de temperatura. La parte más caliente se dilata y se convierte en menos densa que la fría, por este motivo la parte más caliente tiene tendencia a ascender y la parte más fría a ir hacia el fondo; se puede interpretar que la parte caliente flota sobre la fría. De esta manera, se establece una circulación continua, siempre que exista una fuente de calor en la parte inferior de un fluido.	<u>NO<sub>x</sub></u>	Abreviatura que se utiliza para indicar una mezcla de diferentes óxidos de nitrógeno.

