



# Solar Generation IV – 2007

Electricidad Solar para más de mil millones de personas y dos millones de puestos de trabajo en 2020

**GREENPEACE**



**EPIA**  
European Photovoltaic Industry Association



## Créditos

### **Investigadores y analistas de hipótesis**

Christoph Wolfsegger, Johannes Stierstorfer

### **Editor**

Crispin Aubrey

### **Coordinador de Greenpeace y analista de hipótesis**

Sven Teske

### **Coordinadores de EPIA**

Christoph Wolfsegger, Murray Cameron

### **Diseño**

Mark Bitter

### **Con la participación de:**

John Coequyt – Greenpeace USA

Athena Ronquillo Blaesteros – Greenpeace International

Ailun Yang – Greenpeace China

**Greenpeace** es una organización de promoción de campañas, mundial e independiente, que actúa para cambiar actitudes y comportamientos con el fin de proteger y conservar el Medioambiente y promover la paz:

- ✦ Investigando, poniendo de manifiesto y combatiendo los abusos contra el Medioambiente.
- ✦ Desafiando al poder político y económico de los que pueden llevar a cabo el cambio.
- ✦ Impulsando soluciones responsables con el Medioambiente y socialmente justas que ofrezcan esperanza a las generaciones presentes y futuras.
- ✦ Inspirando a la gente a que sea responsable con el planeta

### **Greenpeace International**

Ottho Heldringstraat 5

1066 AZ Amsterdam, Países Bajos

Tel.: +31 20 718 2000 - Fax: +31 20 514 815

sven.teske@int.greenpeace.org

www.greenpeace.org

**EPIA.** La Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA) es la mayor organización, a nivel mundial, sobre Energía Solar Fotovoltaica. El objetivo de esta Asociación es la promoción de la Tecnología Fotovoltaica a nivel nacional, europeo e internacional, así como el apoyo a sus miembros para desarrollar sus negocios en Europa y en mercados exteriores.

### **EPIA Secretariat Offices**

#### **Renewable Energy House**

Rue d'Arlon, 63-65

1040 Bruselas - Bélgica

Tel.: + 32 2 465 38 84 - Fax: +32 2 400 10 10

pol@epia.org

www.epia.org





**Greenpeace y EPIA han unido sus fuerzas** por cuarta vez para publicar un informe sobre la Electricidad Solar Fotovoltaica: **Solar Generation IV**. Además de ofrecer una presentación general del estado mundial de la Energía Fotovoltaica (FV) en los ámbitos político, tecnológico y económico, Solar Generation contiene hipótesis creíbles que demuestran, una vez más, que la Energía FV está claramente en camino de convertirse en una fuente bien implantada en las próximas décadas.

Desde la publicación de la última edición de Solar Generation en Septiembre de 2006, se ha proyectado una luz diferente sobre el potencial mundial de la Energía Renovable. Se ha abierto una nueva ventana de oportunidades. La concienciación por la Energía Renovable, nunca tan extendida como ahora, se ha desencadenado por efecto de una serie de acontecimientos históricos:

- ❖ El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) ha publicado su último informe, en el que se advierte más seriamente que nunca a la comunidad mundial de las drásticas consecuencias del cambio climático.
- ❖ El Informe Stern ha dejado claro que cada dólar invertido en la reducción del cambio climático se compensará evitando impactos económicos negativos mucho más drásticos en épocas posteriores.
- ❖ La Comisión Europea se ha fijado un ambicioso objetivo del 20% de Energía Renovable en el año 2020, en la combinación energética de Europa, a la vez que EE. UU. ha comenzado a considerar el aspecto ecológico de su política energética.

A la luz de estos desarrollos, Solar Generation IV proporciona una valiosa información a los stakeholders de la comunidad mundial de Energía Renovable. Una vez más se destacan las ventajas socioeconómi-

## Prólogo

cas y medioambientales en el subtítulo de la publicación: **“Electricidad para más de 1.000 millones de personas y 2 millones de puestos de trabajo en 2020”**. Este informe es un programa práctico para conseguir estas metas.

Por primera vez en la serie de informes Solar Generation se han planteado tres hipótesis diferentes para el desarrollo futuro de la Energía FV:

1) **La hipótesis Avanzada** muestra un futuro de Energía FV que puede lograrse con un compromiso político adecuado a escala mundial. EPIA y Greenpeace creen firmemente que es posible. Si bien la hipótesis muestra que el 10% del consumo mundial de electricidad podría ser fotovoltaico en 2030 (28% en 2040), el potencial de la Energía FV podría ser incluso mayor.

2) **La hipótesis Moderada** describe un futuro menos brillante. Un compromiso político más débil en los próximos años ralentizaría el desarrollo de la Energía FV a largo plazo.

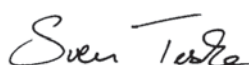
3) Finalmente, **la hipótesis de Referencia de la AIE**, basada en pronósticos de la Agencia Internacional de la Energía, es la menos sostenible para la combinación energética futura y debería evitarse a toda costa. Los últimos índices de crecimiento de la Energía FV han superado ya esas expectativas. Está en manos de los lectores de Solar Generation demostrar que las expectativas seguirán siendo erróneas en el futuro.



### EPIA

Dr. Winfried Hoffmann

Presidente de European Photovoltaic Industry Association (EPIA)



### Greenpeace

Sven Teske

Director de Energías Renovables  
Greenpeace International





# [ Resumen ejecutivo

### Estado global de la Energía Fotovoltaica

El mercado de la Electricidad Solar está en auge. A finales de 2006, la capacidad total instalada de Sistemas Solares Fotovoltaicos (FV) en todo el mundo superó los 6.500 MWp. Esta cifra contrasta con los 1.400 MWp existentes a finales del año 2000. Las instalaciones de células y módulos FV en todo el mundo han aumentado en una tasa media anual superior al 35% desde 1998.

Similar ha sido el crecimiento de la Industria Solar Fotovoltaica, que en la actualidad tiene un valor superior a 9.000 millones de euros anuales.

La competencia entre los principales fabricantes se ha intensificado cada vez más con la aparición de nuevos actores en el mercado al revelarse el potencial de la Energía FV. La Industria Fotovoltaica mundial, en particular en Europa, EE. UU., China y Japón, está realizando fuertes inversiones en nuevas instalaciones de producción y tecnologías. A la vez, el apoyo político al desarrollo de la Electricidad Solar ha promovido la implantación de marcos promocionales de largo alcance en numerosos países, en especial en Alemania, España y EE. UU.

Desde la publicación de la primera edición de Solar Generation en 2001, el mercado FV mundial ha seguido expandiéndose a una velocidad superior a la prevista en aquella época (véase la tabla siguiente). Aunque en algunos países el progreso ha sido más lento de lo que se esperaba, otros han superado las expectativas. En particular, el mercado alemán se ha desarrollado sistemáticamente en el límite superior de su régimen de expansión previsto. Otros países ajenos a la OCDE muestran también su determinación a desarrollar un futuro impulsado por Energía Solar.

Este claro compromiso comercial y político con la expansión de la Industria FV hace que la corriente actual de actividad en el sector de la Electricidad Solar represente tan sólo un anticipo de la transformación y expansión masivas previstas para las próximas décadas. El objetivo: la consecución de la meta común de au-

mentar sustancialmente la penetración de la Electricidad Solar en el mix energético mundial, reduciendo a la vez las emisiones de gases de efecto invernadero.

Todavía queda mucho por hacer para transformar el potencial en realidad. Un paso decisivo es introducir una gama mucho más amplia de actores en el sector, en especial en las áreas de inversión, financiación, marketing y consumo. Al mismo tiempo se requiere transmitir, a una audiencia lo más amplia posible, el mensaje de que la Electricidad Solar aportará beneficios socioeconómicos, industriales y medioambientales a las regiones que fomenten de forma activa su adopción.

### Solar Generation: pronóstico hasta 2030

En el pasado se han publicado numerosos análisis cualitativos sobre el potencial desarrollo de mercado de la Energía Solar Fotovoltaica. El objetivo aquí ha sido compilar una base de conocimiento cuantitativa detallada, junto con unos supuestos realistas y claramente definidos, a partir de los cuales se pudieran hacer extrapolaciones sobre la probabilidad de desarrollo del mercado de la Electricidad Solar hasta el año 2030 y más adelante.

Tomando como ejemplo experiencias de éxito como las de Japón y Alemania, este informe de EPIA/Greenpeace contempla con esperanza lo que la Energía Solar podría lograr –con unas condiciones de mercado apropiadas y una reducción de costes– en las tres primeras décadas del siglo XXI. Además de presentar las previsiones de capacidad instalada y rendimiento energético, incluye valoraciones del nivel de inversión necesario, el número de puestos de trabajo que se crearían y el efecto crucial que tendría el aumento de la entrada de Electricidad Solar en las emisiones de gas de efecto invernadero.

Esta hipótesis para el año 2030, junto con una predicción ampliada hasta 2040, se basa en las siguientes aportaciones esenciales:

#### Capacidad anual de las instalaciones en MW: comparación de los resultados del mercado con las predicciones de "Solar Generation" desde 2001

Años	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Resultados del mercado	334	439	594	1.052	1.320	1.467				
MW SG I 2001	331	408	518	659	838	1.060	1.340	1.700	2.150	2.810
MW SG I 2004					985	1.283	1.675	2.190	2.877	3.634
MW SG I 2006						1.883	2.540	3.420	4.630	5.550
MW SG I 2007							2.179	3.130	4.340	5.650

- ❖ El desarrollo del mercado de la Energía FV en los últimos años, tanto a escala mundial como en regiones específicas.
- ❖ Los programas de apoyo a los mercados regional y nacional.
- ❖ Los objetivos nacionales para Instalaciones FV y la capacidad de fabricación.
- ❖ El potencial de la Energía FV en términos de radiación solar, la disponibilidad de un espacio en el tejado adecuado y la demanda de electricidad en zonas no conectadas a la Red.

#### Se han empleado los siguientes supuestos:

**Consumo de electricidad mundial:** se han desarrollado dos supuestos diferentes de crecimiento previsto de la demanda de electricidad. La versión de referencia se basa en el "World Energy Outlook" (WEO 2006) de la Agencia Internacional de la Energía (AIE). La versión alternativa se basa en el Informe sobre la Revolución Energética de Greenpeace y el Consejo Europeo de Energía Renovable, que contempla amplias medidas de eficiencia energética. Por lo tanto, la contribución de la Energía FV es mayor en este último supuesto.

**Reducción del dióxido de carbono:** en todo el período de la hipótesis se estima que se reducirá una media de 0,6 Kg de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora de salida de un generador solar.

Se contemplan tres hipótesis: una **hipótesis Avanzada**, basada en el supuesto de que unos mecanismos de apoyo adicionales llevarán a un crecimiento mundial dinámico; una **hipótesis Moderada**, que estima un nivel de compromiso político continuo, pero más bajo; y una **hipótesis de Referencia**, basada en las previsiones conservadoras de la AIE. Las tasas de crecimiento previstas en estas hipótesis varían del 40% con una reducción al 15% en el período considerado en la versión Avanzada, del 30% con reducción al 12% en la versión Moderada, y del 16% con reducción al 10% de la versión de Referencia.

Las tres hipótesis se dividen a su vez en dos vías: en las cuatro principales divisiones del mercado mundial (aplicaciones de consumo, Conexión a Red, industrial a distancia y rural aislada), y en las regiones del mundo tal y como se definen en las previsiones de la demanda futura de electricidad realizadas por la Agencia Internacional de la Energía.

#### Solar Generation: resultados clave del análisis de EPIA/Greenpeace

Los resultados clave de la hipótesis de EPIA/Greenpeace muestran claramente que, incluso con una línea base relativamente baja, la Electricidad Solar tiene el potencial de contribuir de forma relevante tanto al suministro mundial de energía del futuro como a la reducción del impacto del cambio climático. Las cifras siguientes corresponden a la hipótesis Avanzada:

Rendimiento de la Electricidad Solar mundial en 2030	
	6,4% de la demanda mundial de electricidad según la hipótesis de consumo de electricidad de la AIE
	9,4% de la demanda mundial de electricidad según la hipótesis Alternativa

Rendimiento de la Electricidad Solar mundial en 2040	
	20% de la demanda mundial de electricidad según la hipótesis de consumo de electricidad de la AIE
	28% de la demanda mundial de electricidad según la hipótesis Alternativa

Previsiones detalladas para el año 2030	
Capacidad acumulativa de los Sistemas FV	1.272 GWp
Producción de electricidad	1.802 TWh
Consumidores con Conexión a Red	776 millones
Consumidores sin Conexión a Red	2.894 millones
Potencial de creación de empleo	6,33 millones de puestos de trabajo
Valor de mercado	318.000 millones de euros al año
Coste de la Electricidad Solar	De 0,07 a 0,13 euros por kWh dependiendo de la situación
Reducción acumulativa de CO <sub>2</sub>	6.671 millones de toneladas de CO <sub>2</sub>

#### Solar Generation: contribución de la Energía FV al suministro mundial de electricidad

La hipótesis Avanzada de EPIA/Greenpeace muestra que, en el año 2030, los Sistemas FV podrían generar aproximadamente 1.800 TWh de electricidad en todo el mundo. Esto significa que, suponiendo que haya un compromiso serio con la eficiencia energética, en un período de 25 años se produciría en todo el mundo suficiente Energía Solar para satisfacer las necesidades de electricidad de casi el 9,5% de la población mundial.

La capacidad de los Sistemas de Energía Solar instalados anualmente llegaría a 179 GWp en 2030. Aproximadamente el 60% de dicha capacidad estaría en el mercado conectado a la Red, principalmente en países industrializados. En esta situación, el número total de personas que obtendrían su propia electricidad de un Sistema Solar conectado a la Red sería de 776 millones.

Si bien en la actualidad los mercados clave se encuentran situados principalmente en el mundo industrializado, un cambio global haría que el mundo en vías de desarrollo tuviera una cuota significativa –aproximadamente el 27%, o un mercado anual de 48 GWp– en el año 2030. Como los tamaños de los sistemas son mucho más pequeños y la densidad de población mayor, esto significa que de este modo usarían Electricidad Solar hasta 2.900 millones de personas en los países en vías de desarrollo. Esto representaría un adelanto importantísimo para la tecnología con respecto a su estado emergente actual.

En el año 2040 la penetración de Solar Generation sería aún mayor. Suponiendo que el consumo energético mundial en general haya aumentado hasta 22.516 TWh (siempre que se hayan aplicado medidas de eficiencia energética serias), la contribución solar equivaldría al 28% de la producción de electricidad mundial. Ello situaría a la Energía Solar en el mapa como una fuente de energía sólidamente establecida.

### **Solar Generation: contribución de la Energía Fotovoltaica a la industria, el empleo y el Medioambiente**

En la industria de Energía Solar se prevé un aumento de la instalación anual mundial de módulos FV de 1.467 MWp en 2006 a más de 179 GWp en 2030. Para los que busquen trabajo en la tercera década del siglo XXI, esto supondrá una importante contribución a sus perspectivas de empleo. Suponiendo que se creen más puestos de trabajo en la instalación y el mantenimiento de los Sistemas FV que en su fabricación el resultado será que, a través del desarrollo de la Energía Solar en el mundo, en 2030 se habrán creado más de 6,3 millones de puestos de trabajo a tiempo completo. La mayoría de estos puestos estarán encuadrados en la instalación y comercialización.

En 2030, la Energía Solar FV habría producido también otro importante efecto. En el aspecto medioambiental, habría una reducción anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> superiores a 1.000 millones de toneladas. Esta reducción equivaldría al conjunto total de emisiones de la India en el

año 2004, o a las emisiones de 300 centrales térmicas de carbón. La reducción acumulativa de CO<sub>2</sub> obtenida a partir de la generación de Electricidad Solar habría alcanzado el nivel de 6.600 millones de toneladas.

### **Recomendaciones relativas a la política**

Para suministrar Electricidad Solar a más de 3.000 millones de personas en el año 2030, y continuar avanzando hasta lograr una cuota mundial de electricidad del 28% en 2040, será necesario un cambio radical en la política energética. La experiencia desde hace unos cuantos años ha demostrado la eficacia del compromiso industrial y político conjunto para lograr una mayor penetración de la Energía Solar en el mix energético en los niveles local, nacional, regional y mundial.

#### **Se requiere de una serie de acciones políticas clave:**

- ❖ **En primer lugar, el crecimiento del mercado FV anual en el mundo hasta alcanzar los 179 GW en 2030 sólo se conseguirá ampliando los esquemas de apoyo que han obtenido los mejores resultados, adaptados adecuadamente a las circunstancias locales, para fomentar la adopción de la Electricidad Solar entre los consumidores. Las experiencias alemana y japonesa ponen de relieve la repercusión que pueden tener estas acciones. En Europa, el sistema de primas (feed-in tariff) ha demostrado ser el mecanismo de apoyo al mercado más eficaz para las Energías Renovables, incluida la Energía Solar FV.**
- ❖ **En segundo lugar, se deberán eliminar las barreras inherentes a la adopción de la Energía Solar, así como los subsidios concedidos a los combustibles fósiles y nucleares que penalizan actualmente a las Fuentes Renovables.**
- ❖ **En tercer lugar se deberá establecer un conjunto de mecanismos, de obligado cumplimiento por ley, que garanticen y aceleren el nuevo mercado de Energía Solar Fotovoltaica.**

Nuestra meta ahora debe ser movilizar los compromisos necesarios en los ámbitos industrial, político y de usuario final con esta tecnología y, lo que es más importante, con los servicios que proporciona. Hemos de redoblar nuestros esfuerzos para garantizar que la generación que nace hoy disfrute de todos los beneficios socioeconómicos y medioambientales que ofrece la Electricidad Solar.

### ¿Cuál es la diferencia entre los captadores solares térmicos y un Sistema de Energía Fotovoltaica?

Los captadores solares térmicos se usan para calentar agua, principalmente para uso doméstico. Los Sistemas Fotovoltaicos generan electricidad.

### ¿Qué diferencia hay entre un sistema conectado a la Red y uno no conectado?

Las aplicaciones conectadas a la Red pueden suministrar electricidad directamente a una red eléctrica. Los Sistemas sin Conexión a Red suelen tener baterías para almacenar la electricidad producida y no tienen acceso a la Red de electricidad.

### ¿Disponemos de suficiente silicio como materia prima?

El silicio que se usa como materia prima en la Industria FV está disponible en abundancia en todo el mundo. Sin embargo, el proceso de producción del silicio puro necesario para las células solares cristalinas es complejo. Desde que se planifica una nueva fábrica de silicio hasta que se obtienen las primeras unidades pueden pasar dos años. El desarrollo dinámico del mercado FV ha generado una escasez de silicio puro y la industria ha reaccionado construyendo nuevas instalaciones. Hacia 2008 estas nuevas fábricas deberían mejorar la situación de abastecimiento.

### ¿Se pueden reciclar los módulos fotovoltaicos?

Sí, se pueden reciclar todos los componentes de un módulo solar. Las partes más valiosas son las propias células solares, las cuales se pueden reciclar en nuevas obleas que constituyen la base de las nuevas células solares. Los bastidores de aluminio, el cristal y los cables también se pueden reciclar.

### ¿Cuándo será rentable la Energía FV?

En muchos casos, la Electricidad Solar ya es rentable, en especial en aplicaciones autónomas, sin acceso a la red pública. En el Sur de Europa, la Electricidad Fotovoltaica con conexión a Red será rentable con potencia punta hacia el año 2015. Se prevé que los precios sigan bajando.

### ¿Generan los Sistemas FV a lo largo de su vida útil más energía que la que se requiere para producirlos?

Sí. En unos dos años, un Sistema FV basado en tecnología cristalina en el Sur de Europa habrá generado la misma energía que se necesitó para producir e instalar todos sus componentes. En un sistema de thin film (película fina), el período es aproximadamente de un año. Un Sistema FV producirá en su vida útil de más de 30 años mucha más energía que la que se necesitó para

crearlo. La energía empleada en la producción de Sistemas FV se reduce constantemente.

### ¿La Energía FV sólo es eficiente en países meridionales?

No. La Energía FV funciona en cualquier sitio en el que haya luz. Incluso en el Sur de Alemania, un sistema de tejado de tamaño medio de 3 kWp genera cerca de 3.000 kWh al año. Esto puede cubrir la demanda anual total de electricidad de una vivienda.

### ¿Es cara la Energía FV?

Los costes de generación de electricidad de los Sistemas FV son actualmente superiores a los de otras fuentes de energía, si se excluyen los costes medioambientales de la generación de electricidad convencional. Por ello, se requiere un apoyo financiero para desarrollar una industria fuerte con economías de escala. Con una producción a gran escala, se espera que los precios caigan por debajo de los de la electricidad residencial, y competirán también con los costes de generación de todas las demás fuentes de electricidad (nuclear, fósil) en 20 ó 30 años. En los países con sistema de primas, la Electricidad FV ya es una inversión atractiva.

### ¿Hay espacio suficiente para instalar un gran número de Sistemas FV?

Sí. La Tecnología FV es eficaz en términos de espacio. Para un sistema de 1 kWp se requieren aproximadamente 7 m<sup>2</sup> de módulos. Para cubrir la demanda completa de electricidad de la UE sólo se necesitaría un 0,7% de la superficie total del terreno. Hay una gran superficie disponible que no compite con otros usos del terreno, incluidos los tejados, las fachadas de los edificios, las barreras contra el ruido y los terrenos vacíos. La disponibilidad de espacio no es un factor limitativo para el desarrollo FV.

### ¿Cuánto tiempo de vida útil tiene un módulo FV?

Muchos productores ofrecen garantías de rendimiento de 20 ó 25 años para sus módulos. En el Centro de Investigación Conjunta de la CE en Ispra (Italia) se han tenido módulos cristalinos funcionando en pruebas en el terreno con excelentes resultados de rendimiento durante más de 20 años. La mayoría de los módulos siguen superando el 92% de su potencia nominal registrada al inicio del período de prueba.

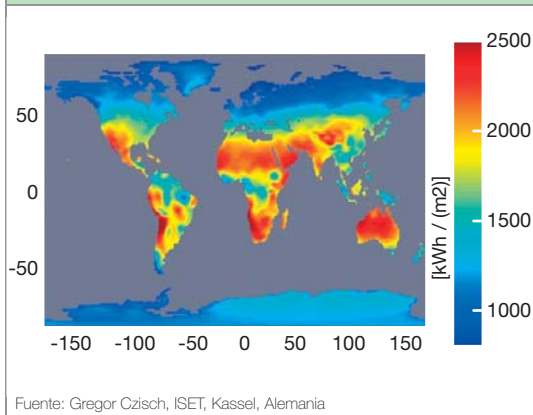
### ¿Cuánto espacio se necesita para instalar un sistema de tejado?

Depende de la tecnología que se emplee. Un sistema de 3 kWp basado en módulos cristalinos requiere unos 23 m<sup>2</sup> de superficie de tejado en pendiente orientado aproximadamente al Sur.

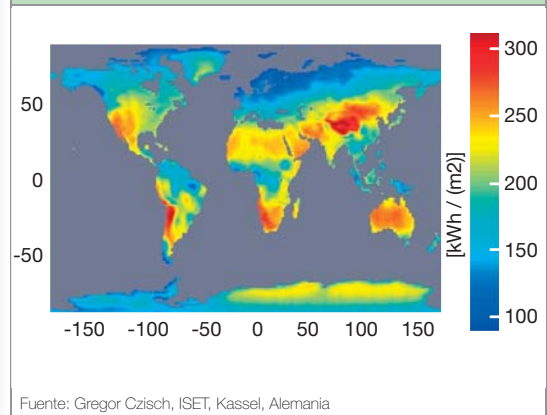


**Primera parte:**  
**Fundamentos de la**  
**Energía Solar**

**Figura 1.1: variaciones de la irradiación en el mundo**



**Figura 1.2: potencial de la Energía FV en el mundo**



### El potencial de la Energía Solar

En el mundo hay radiación solar más que suficiente para satisfacer la demanda de Sistemas de Energía Solar. La proporción de los rayos solares que llegan a la superficie terrestre puede satisfacer más de 10.000 veces el consumo de energía mundial. Como media, cada metro cuadrado de terreno tiene una exposición a la luz solar suficiente para obtener 1.700 kWh de energía al año.

La base de datos estadísticos del recurso de Energía Solar es muy sólida. Por ejemplo, la base de datos Nacional de Radiación Solar de EE. UU. ha registrado 30 años de radiación solar y datos meteorológicos adicionales de 237 lugares de EE. UU. El Centro Europeo de Investigación Conjunta (JRC por sus siglas en inglés) (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>) publica y evalúa los datos de radiación solar en Europa obtenidos de 566 lugares.

*Fábrica de  
Isotofón  
en Málaga*



Cuanto mayor es el recurso solar disponible en un punto determinado, mayor es la cantidad de electricidad que se genera. Las regiones subtropicales ofrecen un recurso mejor que las latitudes más templadas. Por ejemplo, la media aproximada de energía que se recibe en Europa es de 1.000 kWh por metro cuadrado. Este valor contrasta con los 1.800 kWh que se reciben en Oriente Medio.

La Figura 1.2 muestra una estimación del rendimiento potencial de los generadores solares FV en diferentes partes del mundo. El cálculo tiene en cuenta la eficiencia media de los módulos y convertidores, así como el ángulo correcto con respecto al Sol que se requiere en las diferentes latitudes.

Al comparar las Figuras 1.1 y 1.2 se aprecia que sólo se puede usar una parte de la radiación solar para generar electricidad. No obstante, a diferencia de las fuentes de energía convencionales, no se desperdicia energía por pérdida de eficiencia, ya que la luz solar no puede desperdiciarse. Se ha calculado que si el 0,71% de la superficie terrestre europea estuviera cubierta por módulos FV, se podría satisfacer el consumo completo de electricidad en Europa. Además, los cálculos de la Agencia Internacional de la Energía muestran que si se usara tan sólo el 4% de las zonas desérticas (extremadamente secas) del mundo para Instalaciones FV, se cubriría la demanda de energía primaria de todo el mundo.

Teniendo en cuenta las amplias zonas de espacio inutilizado existentes (tejados, superficies de edificios, barbechos, desiertos, etc.), el potencial es casi inagotable.



### ¿Qué es la Energía Fotovoltaica?

'Fotovoltaico' es el resultado de la unión de dos palabras: 'foto', que significa luz, y 'voltaico', que significa electricidad. 'Tecnología Fotovoltaica' es el término que se emplea para describir el sistema físico que convierte la Energía Solar en energía utilizable, generando electricidad a partir de la luz.

En el corazón de la Tecnología Fotovoltaica reside un material semiconductor que puede adaptarse para liberar electrones, las partículas con carga negativa que constituyen la base de la electricidad. El material semiconductor más común que se emplea en las células fotovoltaicas es el silicio, un elemento que se encuentra habitualmente en la arena. Su disponibilidad como materia prima no tiene límites; el silicio es el segundo material más abundante en la corteza terrestre.

Todas las células FV tienen dos capas semiconductoras, una con carga positiva y otra con carga negativa. Cuando brilla la luz en el semiconductor, el campo eléctrico presente en la unión entre estas dos capas hace que fluya la electricidad, generando una corriente continua (CC). Cuanto mayor sea la intensidad de la luz, mayor será el flujo de electricidad.

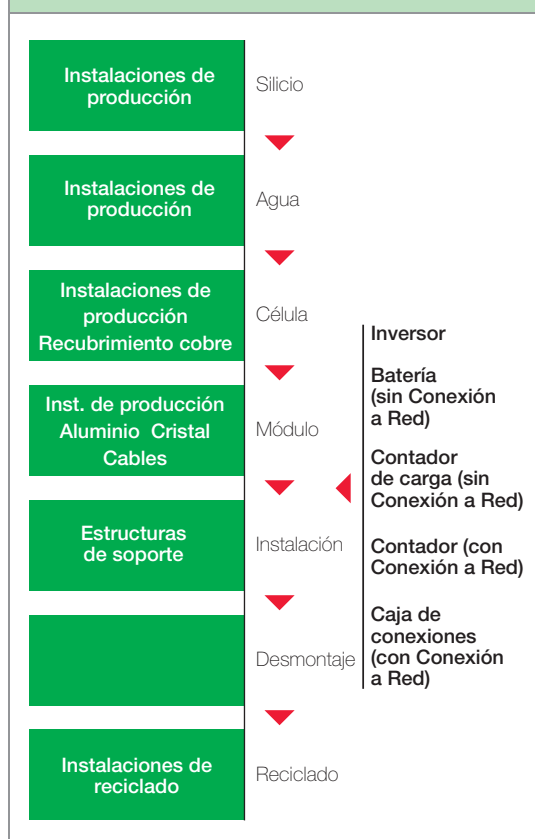
Por lo tanto, un Sistema Fotovoltaico no necesita luz solar brillante para funcionar. También puede generar electricidad en días nublados. Debido a la reflexión de la luz solar, los días ligeramente nublados pueden incluso hacer que se genere más energía que en los días con el cielo totalmente despejado.

La generación de energía mediante un Sistema Solar FV es completamente diferente del funcionamiento de un Sistema Solar Térmico, en el que se usan los rayos solares para generar calor, normalmente para calentar el agua de una vivienda, una piscina, etc.

#### **Ventajas de la Tecnología FV:**

- ❖ El combustible es gratis.
- ❖ No hay piezas móviles susceptibles de desgaste, rotura o sustitución.
- ❖ Sólo se requiere un mantenimiento mínimo para garantizar el funcionamiento del sistema.
- ❖ Los sistemas son modulares y se pueden instalar rápidamente en cualquier parte.
- ❖ No produce ruido, emisiones nocivas ni gases contaminantes.

**Figura 1.3: ciclo de vida de un Sistema FV (c-Si)**



### Tecnología FV

Los componentes más importantes de un Sistema FV son las **células**, que constituyen los bloques de construcción básicos de la unidad y se encargan de recoger la luz del Sol, los **módulos**, que unen grandes números de células en una unidad, y en algunas ocasiones los **inversores**, que se usan para convertir la electricidad generada en una forma adecuada para el uso diario.

#### **Células y módulos FV**

Generalmente, las células FV son de **silicio cristalino**, cortado en láminas de lingotes o bloques fundidos, o ribbons (cintas estiradas); también pueden ser de **thin film**, depositado en capas delgadas en un soporte de bajo coste. La mayoría de las células producidas hasta ahora (el 93% en 2006) son del primer tipo, mientras que en los planes de futuro se contempla decididamente el segundo. Se prevé que la tecnología de thin film basada en silicio y otros materiales va a acaparar una cuota mucho mayor del mercado de la Energía FV. Esta tecnología ofrece varias ventajas, como su bajo consumo de material, poco peso y aspecto uniforme.

### Silicio cristalino

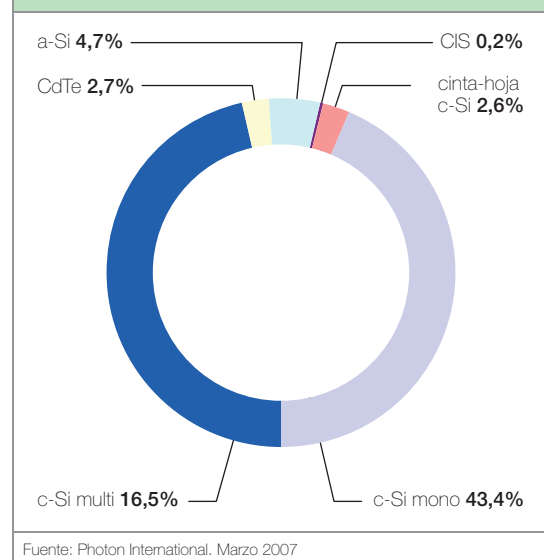
El silicio cristalino sigue siendo la base de la mayoría de los módulos FV. Aunque en algunos parámetros técnicos no es el material ideal para las células solares, presenta las ventajas de estar ampliamente disponible, es muy conocido y emplea la misma tecnología que la industria de la electrónica. Se han obtenido rendimientos superiores al 20% con células de silicio ya en fase de producción en serie. Esto significa que se puede transformar en electricidad el 20% de la radiación solar recibida.

Al igual que el rendimiento de las células solares, su espesor también es un factor muy importante. Las obleas –láminas muy finas de silicio– son la base de las células solares cristalinas. Cuanto más finas sean las obleas, menos silicio se necesitará en cada célula solar y, por lo tanto, más bajo será el coste. El espesor medio de las obleas se ha reducido de 0,32 mm en 2003 a 0,18 mm en 2007. En el mismo período, el rendimiento medio ha aumentado del 14% al 16%. El objetivo para el año 2010 es reducir el espesor de las obleas a 0,15 mm y aumentar, a la vez, el rendimiento hasta una media del 17,5%.

Durante la producción de las obleas se pierde una cantidad considerable de valioso silicio en forma de pulpa de corte. La tecnología de cinta representa un enfoque alternativo. Evita las pérdidas de corte produciendo capas de silicio cristalino finas mediante una serie de técnicas, como la extracción de capas finas a partir de fusión, o la fusión de silicio en polvo en un sustrato. Al

evitarse los procedimientos de corte y las pérdidas de material que conlleva, se puede reducir significativamente la demanda de silicio por vatio de capacidad.

**Figura 1.4: cuotas de tecnología de células en 2006**



### Película fina

Los módulos de thin film (película fina) se construyen depositando capas extremadamente delgadas de materiales fotosensibles sobre soportes de bajo coste, como vidrio, acero inoxidable o plástico. Con ello se consigue reducir los costes de producción en comparación con la tecnología cristalina, más intensiva en materiales, lo que le reporta una ventaja en precios que actualmente se ve contrarrestada por unos índices de rendimiento considerablemente inferiores.

En la actualidad hay tres tipos de módulos de thin film disponibles en el mercado. Se fabrican a partir de silicio amorfo (a-Si), diseleniuro de cobre e indio (CIS, CIGS) y telurio de cadmio (CdTe). Todos ellos tienen capas activas en la gama de espesores por debajo de unas pocas micras. Así se consigue mayor automatización una vez que se alcanza un determinado volumen de producción, permitiendo simultáneamente un enfoque más integrado en la construcción de los módulos. El proceso es menos intensivo en mano de obra en comparación con el montaje de módulos cristalinos, en el que hay que interconectar las células individuales.

Una escasez temporal de silicio ha brindado asimismo la oportunidad de aumentar la cuota de mercado de las tecnologías de thin film. Ya hay nuevas compañías trabajando en el desarrollo de la producción de thin film sobre la base de un enfoque "roll to roll". Esto significa que se recubre un sustrato flexible, como por

*Gran Planta de Energía FV con seguidores solares situada en Castejón (Navarra), España*



**Tabla 1.1: rendimientos de módulos y células**

Tecnología	Thin film				Basada en oblea cristalina	
	<i>Silicio amorfo (a-Si)</i>	<i>Cadmio Teluro (CdTe)</i>	<i>CIS</i>	<i>a-Si/m-Si</i>	<i>Monocristalina</i>	<i>Multicristalina</i>
Rendimiento de célula en CPE*	6-7%	8-10%	10-11%	8%	16 – 17%	14 – 15%
Rendimiento de módulo					13 – 15%	12 – 14%
Área necesaria por kWp** (para los módulos)	15m <sup>2</sup>	11m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup>	12m <sup>2</sup>	aprox. 7 m <sup>2</sup>	aprox. 8 m <sup>2</sup>

\* Condiciones de Prueba Estándar: 25 °C, intensidad lumínica de 1000W/m<sup>2</sup>, masa de aire = 1,5  
 \*\* kWp = kilovatio 'pico'. Los productos y Sistemas FV se clasifican por la energía que generan en Condiciones de Prueba Estándar

ejemplo el acero inoxidable, con capas en un proceso continuo. La implantación con éxito de este método de producción ofrecerá oportunidades para un aumento significativo del rendimiento de la fábrica junto con una reducción de costes. EPIA prevé un crecimiento de la cuota de thin film hasta alcanzar aproximadamente el 20% de la producción total de módulos FV en el año 2010.

De las tres tecnologías de thin film disponibles en el mercado, a-Si es la más importante en términos de producción e instalación, con un 4,7% del total del mercado en 2006.

El thin film multicristalino sobre cristal (CSG) es una tecnología de película fina prometedora que está empezando a entrar en la fase de producción industrial. La tecnología microcristalina, en particular la combinación de silicio amorfo con silicio microcristalino (a-Si/m-Si), es otro enfoque con resultados prometedores.

**Otros tipos de células**

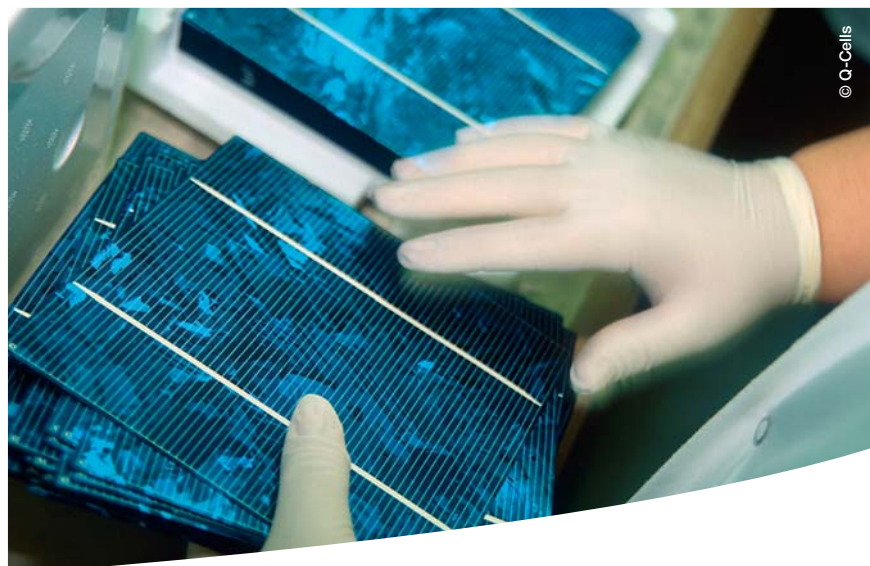
Las **células de concentración** funcionan enfocando la luz en una pequeña área mediante un concentrador óptico, como una lente Fresnel con un índice de concentración de hasta 1.000 soles. A partir de ahí se puede equipar la pequeña superficie con un material fabricado de semiconductores de compuesto III-V (de tipo arseniuro de galio multiunión), con lo que se consiguen rendimientos del 30% y en laboratorios hasta el 40%. Los dos principales inconvenientes de los Sistemas de Concentración son que no pueden utilizar la luz solar difusa y que deben orientarse siempre de forma muy precisa hacia el Sol mediante un sistema de seguimiento.

**Módulos**

Los módulos son grupos de células FV incorporados a una unidad, generalmente soldándolos unos con otros bajo una lámina de vidrio. Su tamaño se puede adaptar al emplazamiento propuesto y se instalan rápidamente. También son sólidos, fiables y resistentes al agua. Los productores de módulos suelen garantizar un rendimiento energético del 80% de la capacidad nominal incluso al cabo de 20 ó 25 años.

Cuando se dice que una Instalación FV tiene una capacidad de 3 kWp se considera el rendimiento del sistema en condiciones de prueba estándar (CPE), lo que permite efectuar comparaciones entre distintos módulos. En Europa Central, un Sistema de Electricidad Solar con una capacidad nominal de 3 kWp y una superficie de módulo aproximada de 23 m<sup>2</sup> (dependiendo de la tecnología; véase la Tabla 1.1) produciría energía suficiente para cubrir la demanda de electricidad de un hogar concienciado del uso racional de la energía.

*Células multicristalinas en Q-Cells*



## Inversores

Los inversores se usan para convertir la corriente continua producida por un generador FV en corriente alterna (CA) compatible con la red de distribución de electricidad local. Esto es fundamental para los Sistemas FV conectados a la Red. Los inversores se ofrecen en una amplia variedad de clases de potencias, desde algunos cientos de vatios, pasando por la gama más común de varios kWp (de 3 kWp a 6 kWp), hasta los inversores centrales para sistemas a gran escala, con 100 kWp o superiores.

## Componentes de los Sistemas FV aislados

Los Sistemas FV aislados (sin Conexión a Red) requieren una **batería**, generalmente de tipo plomo-ácido, para almacenar la energía para uso posterior. En la actualidad existen nuevas baterías de alta calidad diseñadas especialmente para las aplicaciones solares, con tiempos de vida útil de más de 15 años. No obstante, el tiempo de vida de una batería depende en gran medida de la forma de utilización y del comportamiento del usuario. La batería está conectada al Sistema FV mediante un **controlador de carga**. El controlador de carga protege la batería contra las sobrecargas o descargas, y también puede proporcionar información sobre el estado del sistema o permitir la medición y el prepagado de la electricidad utilizada. Si se necesita una salida de CA, será preciso instalar un **inversor** que convierta la alimentación de CC del sistema.

*Nuevo edificio en ECN  
con tejado FV curvo  
diseñado por BEAR  
architects: interior*



## Tipos de Sistemas FV

### **Conectado a la Red**

Es el tipo más común de Sistema Solar FV para viviendas y empresas en el mundo desarrollado. La conexión a la Red eléctrica local permite vender el excedente de energía producido a la compañía suministradora. Así, la electricidad se importa de la red durante la noche. Se utiliza un inversor para convertir la CC generada por el sistema en CA para el funcionamiento de los equipos eléctricos normales.

En países con sistema de primas, el pago por la electricidad generada (véase la Sexta parte: Impulsores de la política) es considerablemente mayor que la tarifa normal pagada por el cliente a la compañía suministradora. Éste es el caso de países como Alemania o España.

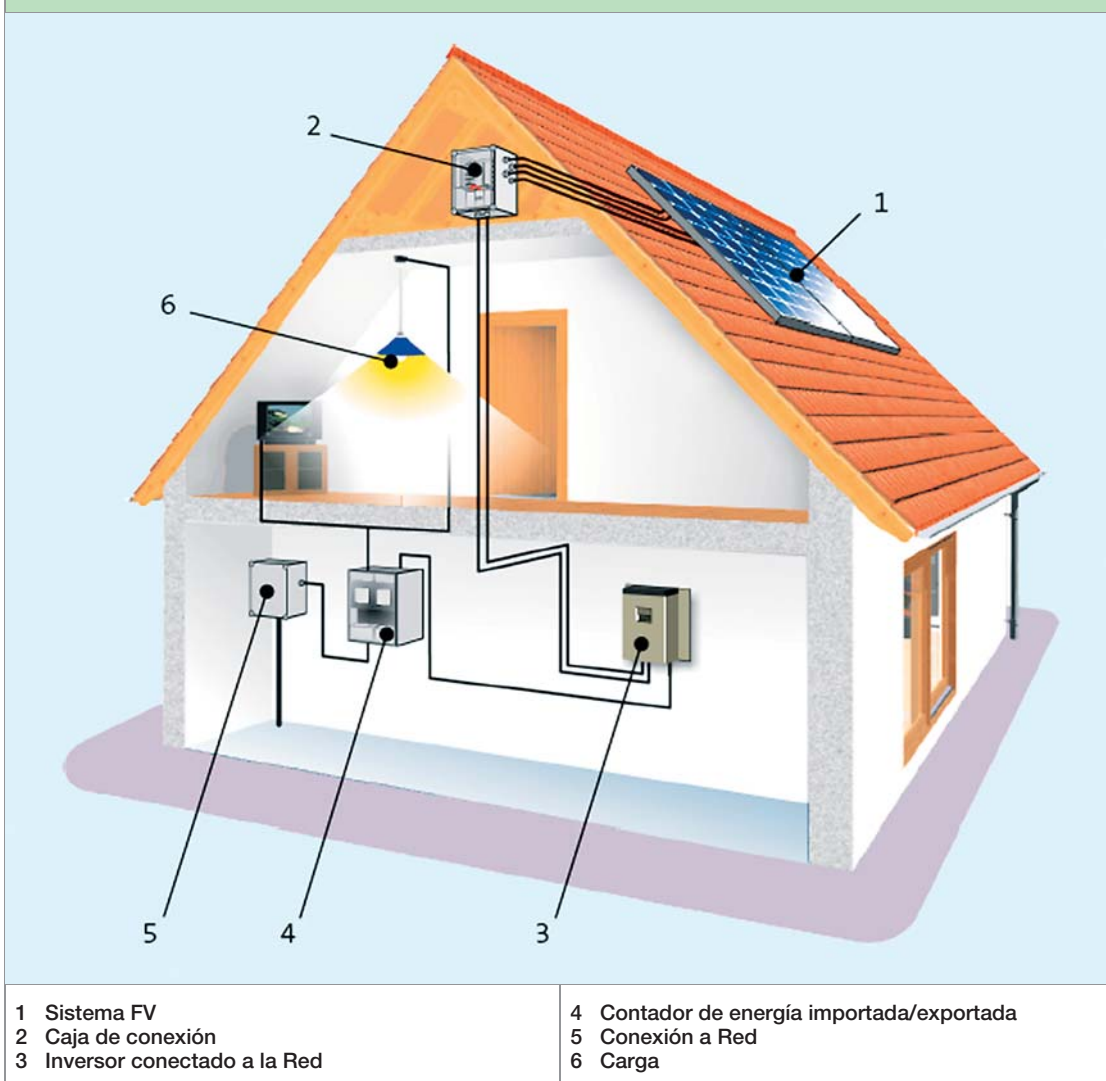
### **No conectado a la Red**

Cuando no hay una conexión a la Red eléctrica disponible, el sistema se conecta a una batería a través de un controlador de carga. Esta batería almacena la electricidad generada para usarla posteriormente y actúa como fuente de alimentación principal. Se puede emplear un inversor para proporcionar alimentación de CA, permitiendo el uso de aparatos eléctricos normales. Las aplicaciones típicas de los sistemas no conectados a la Red son los repetidores de telefonía móvil, los sistemas de electrificación de zonas distantes (refugios de montaña), o la Electrificación Rural en países en vías de desarrollo. En la Electrificación Rural se incluyen tanto pequeños Sistemas Solares Domésticos capaces de cubrir las necesidades básicas de electricidad de una vivienda, como pequeñas redes de mayor extensión que proporcionan energía a varias viviendas.

### **Sistema híbrido**

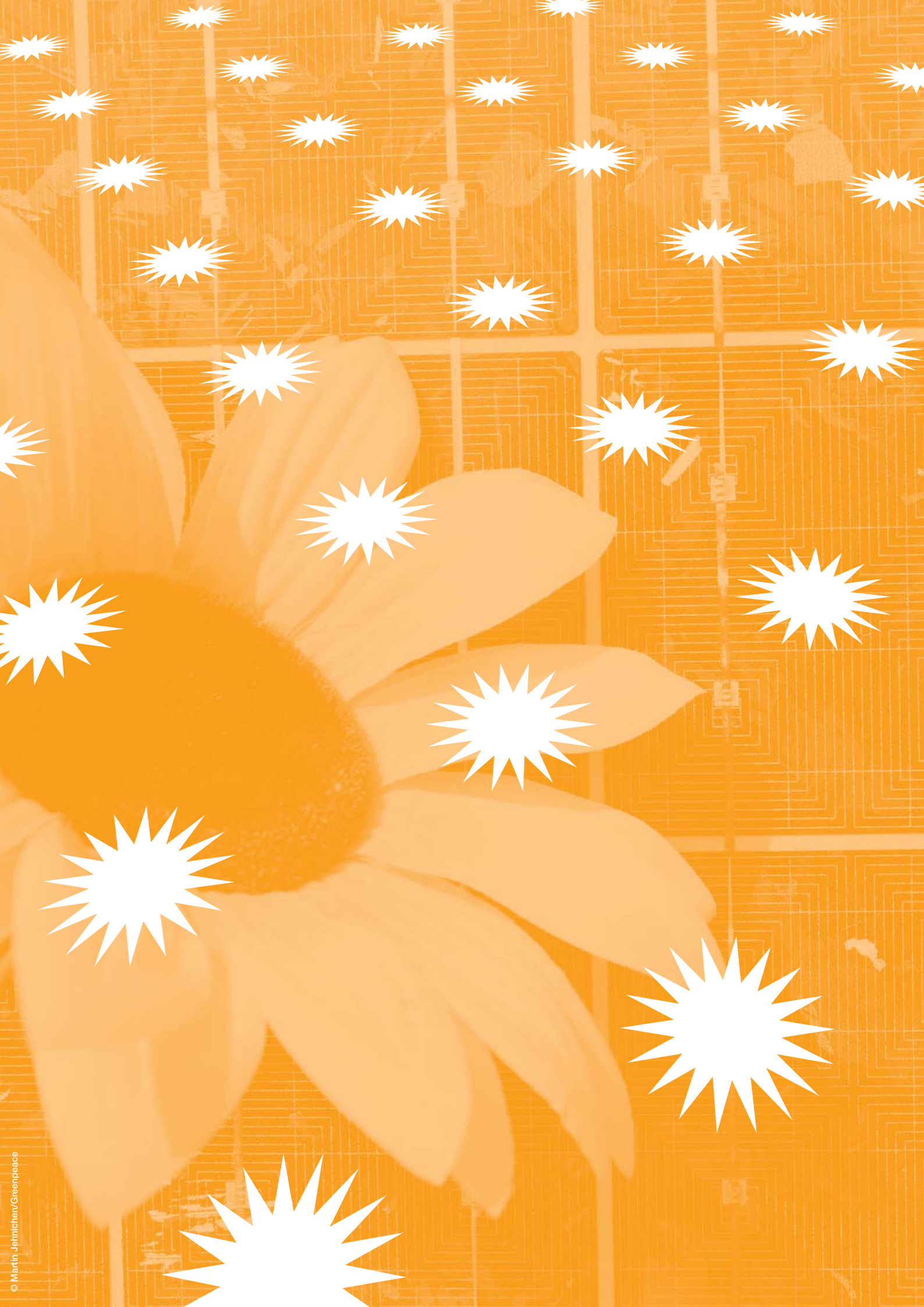
Un Sistema Solar se puede combinar con otras fuentes de energía –un generador de biomasa, un aerogenerador o un grupo electrógeno diésel– para garantizar un suministro de electricidad permanente. Los sistemas híbridos pueden ser conectados a la Red, independientes o con apoyo de la Red.

**Figura 1.5: funcionamiento de un Sistema Fotovoltaico conectado a la Red**



La Figura 1.5 muestra cómo la electricidad generada por las células solares de los módulos FV instalados en el tejado se transforma, mediante un inversor, en alimentación de CA adecuada para exportarla a la Red eléctrica.

El dueño de la casa/generador tiene dos opciones: vender toda la electricidad generada a la compañía suministradora de energía local (si hay un sistema de primas establecido), o usar la Electricidad Solar para cubrir las necesidades de la propia casa y vender el excedente a la compañía suministradora.



**Segunda parte:**  
**El mercado de la**  
**Energía Solar**

*La Energía Solar está en auge. A finales de 2006, la capacidad acumulativa instalada de los Sistemas Solares Fotovoltaicos de todo el mundo superó la increíble cifra de 6.500 MWp. Este valor contrasta con los 1.400 MWp existentes a finales del año 2000. Las instalaciones de células y módulos FV en todo el mundo han aumentado en una tasa media anual superior al 35% desde 1998.*

El valor del Mercado Solar FV alcanzó los 9.000 millones de euros anuales en el año 2006. La competencia entre los principales fabricantes se ha intensificado cada vez más con la aparición de nuevos actores en el mercado al revelarse el potencial de la Energía FV.

Si bien el crecimiento en los últimos años se ha producido principalmente en el sector conectado a la Red, el lado de la demanda del mercado FV internacional se puede dividir claramente en cuatro sectores. En este informe se consideran estas categorías del mercado.

## **Sectores del mercado en el lado de la demanda**

### **1. Bienes y servicios de consumo**

#### **Aplicaciones**

Las células o los módulos solares se emplean en una amplia gama de productos de consumo y en pequeños aparatos eléctricos, incluidos relojes de pulsera, calculadoras y juguetes, así como para proporcionar alimentación a determinadas instalaciones como rociadores de extinción de incendios, señales de carretera, sistemas de iluminación y cabinas telefónicas.

Gran Planta de Energía  
Solar en España



Un uso típico de las nuevas aplicaciones de la Energía FV es el control del aire acondicionado en los coches. Un pequeño sistema integrado en el techo mantiene la temperatura del interior a un nivel constante, accionando un ventilador cuando el coche está estacionado, principalmente en verano. Con ello se consiguen unas temperaturas máximas más bajas en el interior del coche, lo que hace que el sistema de aire acondicionado resulte mucho más barato al requerir mucha menos energía. Los fabricantes pueden también ahorrar así el gasto en costosos materiales resistentes al calor en el interior del vehículo.

#### **Desarrollo del mercado**

En el año 2006, este sector ocupaba aproximadamente el 2% de la producción anual en el mundo. Al aumentar la demanda de suministro de electricidad móvil se espera que el mercado de bienes de consumo continuará creciendo en términos absolutos (aunque su cuota relativa se reducirá), en particular con la introducción de tecnologías de electricidad de bajo coste innovadoras como las células solares orgánicas.

### **2. Sistemas conectados a la Red**

#### **Aplicaciones**

Las aplicaciones FV con conexión permanente a la Red eléctrica se clasifican como aplicaciones conectadas a la Red. Los dispositivos FV se pueden instalar sobre los tejados, o integrados en los tejados y fachadas de las casas, oficinas y edificios públicos. Las casas particulares constituyen una importante área en expansión para los sistemas de tejado, así como para los Sistemas FV integrados en edificios (BIPV por sus siglas en inglés). Un Sistema de Electricidad Solar de 3 kWp instalado en el Sur de Alemania genera aproximadamente 3.000 kWh al año, lo que es suficiente para cubrir el 100% de las necesidades anuales de electricidad de un hogar concienciado del uso racional de la energía.

La Energía FV está siendo utilizada cada vez más por los arquitectos como característica de diseño, en sustitución de otros elementos de la envolvente de los edificios. Las tejas o placas solares pueden reemplazar a los materiales convencionales; los módulos de thin film se pueden incluso integrar en tejados abovedados, a la vez que los módulos semitransparentes proporcionan una interesante mezcla de sombra y luz natural. La Energía FV se puede usar también para proporcionar potencia pico al edificio en los días calu-



rosos de verano, cuando los sistemas de aire acondicionado requieren más energía, contribuyendo así a reducir al máximo la carga de electricidad.

Si se considera el Sistema de Electricidad Solar como parte integrante de un edificio, el dinero empleado en materiales decorativos para las fachadas, como el mármol, podría invertirse en módulos solares. La Energía Solar duplica así su función, sirviendo como productor de energía y como material de construcción. En las empresas destacadas puede constituir la cara pública de su compromiso medioambiental.

La generación distribuida mediante fachadas o tejados solares puede proporcionar también beneficios a las instalaciones de energía, evitando el cambio de red o reforzando y reduciendo potencialmente la demanda máxima de electricidad convencional, especialmente en países con gran carga de refrigeración. En particular, la Energía FV puede suavizar la demanda de pico causada por el uso de sistemas de aire acondicionado. En muchas zonas del mundo, el uso intensivo de aire acondicionado durante los meses de verano provoca repetidamente cortes de electricidad generales y locales. Como el suministro de los Sistemas FV satisface perfectamente la demanda de los sistemas de aire acondicionado, en los días de luz solar intensa puede ayudar a disminuir el número de cortes o reducciones de electricidad.

Los Sistemas FV a gran escala (> 1 MWp) conectados a la Red representan aproximadamente el 10% del mercado FV europeo. Estos sistemas son particularmente adecuados en áreas en las que no hay competencia con otros usos del terreno. Estas plantas de grandes dimensiones están dedicadas exclusivamente a la producción de energía y, por lo tanto, se limitan a suministrar electricidad a la Red sin autoconsumo. Las regiones desérticas con gran radiación solar ofrecen buenas oportunidades para las plantas de grandes dimensiones a largo plazo, en especial por el descenso continuo del precio de los módulos, por ejemplo en el Sudoeste de Estados Unidos, África y Mongolia. En Alemania, los sistemas a gran escala basados en el terreno de clase megavatio se han transformado en un nuevo mercado en los últimos años. Esto brinda una nueva fuente de ingresos a los agricultores, que pueden alquilar sus tierras a los inversores, con la ventaja de garantizarse unos ingresos durante al menos 20 años.

### **Desarrollo del mercado**

Este segmento del mercado es el motor actual del auge de la Energía FV, con la mayor parte del desarrollo localizado en los países de la OCDE. Cada vez hay más gobiernos nacionales que contemplan la Energía FV como una tecnología importante para el futuro y que han establecido ya programas de apoyo o están en vías de hacerlo. Mientras que en 1994 sólo estaba conectado a la Red un 20% de la nueva capacidad FV, este valor ha aumentado hasta aproximadamente el 85% en 2006.

Un número creciente de países ha seguido los exitosos ejemplos de Alemania, Japón y EE. UU., que han establecido programas de apoyo a los Sistemas FV conectados a la Red. Estos programas seguirán impulsando el crecimiento del mercado durante los próximos años, hasta que la energía FV pueda competir en precios con la electricidad doméstica (véase la Sexta parte: Impulsores de la política).

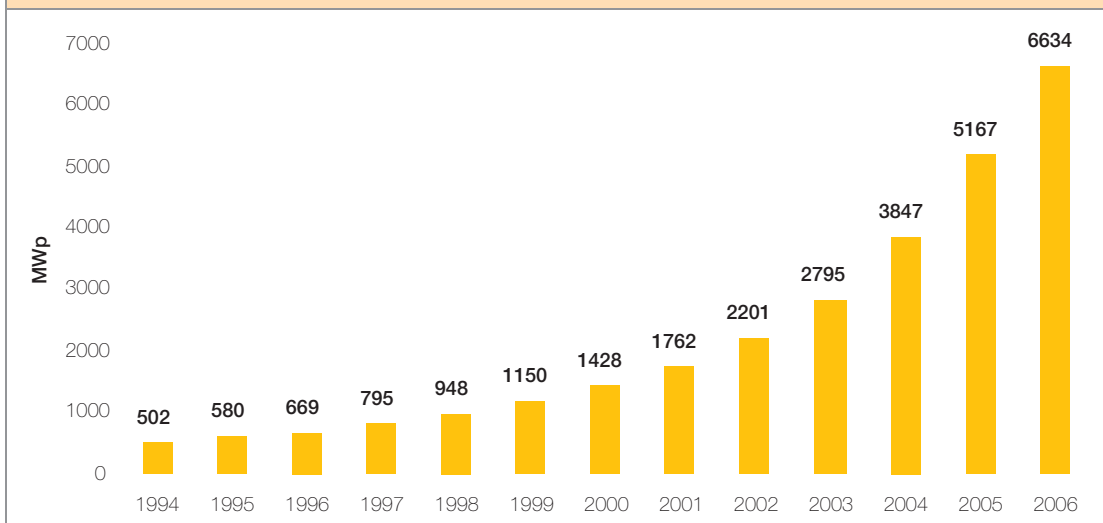
Otra importante ventaja del mercado conectado a la Red es el control que permiten los Sistemas FV al consumidor sobre su propio suministro. No se trata sólo de generar electricidad en el punto de demanda, evitando pérdidas de electricidad en la Red, sino que el consumidor se transforma efectivamente en el operador de su propia central eléctrica. Con la liberalización permanente de los mercados energéticos internacionales, esto puede tener unas implicaciones de mercado cada vez más importantes. El efecto completo será visible tan pronto como los precios de la Energía FV se acerquen a la paridad con los de la electricidad doméstica.

*Instalación de un Sistema FV en un tejado*



© Conergy

**Figura 2.1: capacidad FV acumulativa mundial**



### 3. Electrificación aislada

#### Aplicaciones

La Tecnología FV proporciona una energía vital a comunidades de países en vías de desarrollo que no tienen acceso a la Red eléctrica. Cerca de 1.700 millones de personas en todo el mundo viven en la actualidad sin servicios de energía básicos. El 80% de ellas vive en áreas rurales. Este gran mercado es una excelente oportunidad tanto para la Industria FV como para la población local.

Los Sistemas FV pueden suministrar electricidad tanto para consumo privado como para usos industriales. Los sistemas de energía domésticos proporcionan iluminación y comunicaciones de alta calidad (radio/TV/Internet), mientras que la energía utilizada para refrige-

ración, bombeo de agua o herramientas eléctricas puede ser un motor decisivo para el desarrollo de la economía local. La Tecnología FV tiene el potencial de suministrar mucho más que simplemente electricidad para iluminación o mejora de la sanidad. Suministrando energía a los ordenadores, por ejemplo, puede hacer que la gente tenga acceso a una mejor educación o información a través de Internet. También hay una gran necesidad de purificar el agua potable en el mundo en vías de desarrollo. La Organización Mundial de la Salud calcula que cada día mueren 10.000 niños por enfermedades transmitidas por el agua. Los sistemas y bombas de purificación de agua alimentados por Energía Solar se transportan con facilidad, son fáciles de mantener y utilizar y, como parte de las iniciativas sanitarias rurales, pueden ser una importante herramienta en la lucha contra las enfermedades.

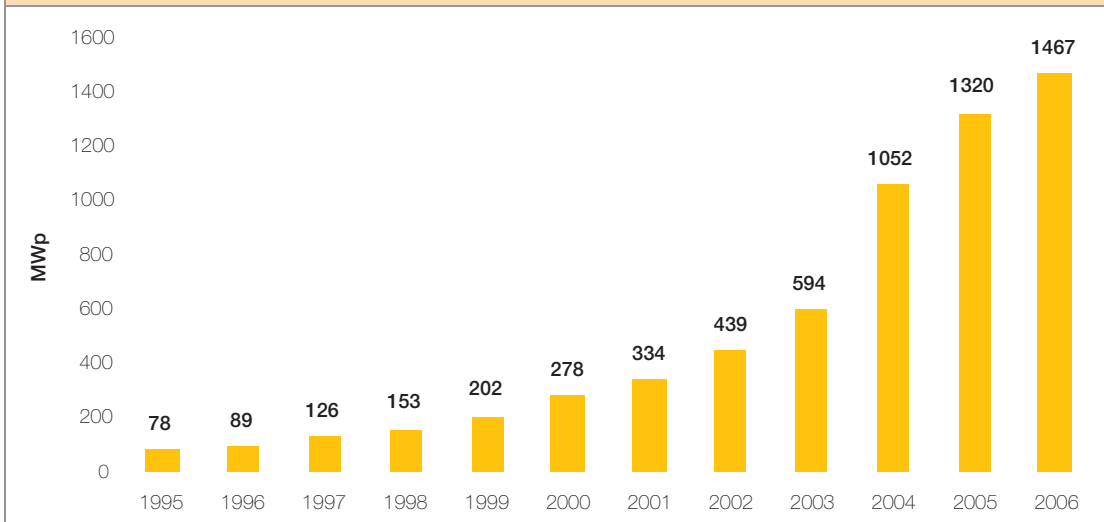
#### Desarrollo del mercado

Aparte de sus claras ventajas sociales, la justificación económica del uso de la Energía FV es evitar los costes de combustible, generalmente gasóleo, a un precio elevado, o la comparación con el coste de ampliación de la Red. En las comunidades en el nivel de subsistencia, el principal escollo es con frecuencia el coste de inversión del sistema. A pesar de que se han iniciado numerosos programas de desarrollo rural en países en vías de desarrollo, apoyados por programas de asistencia bilaterales y multilaterales, el impacto ha sido hasta ahora relativamente pequeño. Sin embargo, se espera que este segmento adquiera una parte sustancial de la cuota del mercado FV mundial en las próximas décadas. En 2006, aproximadamente el 7% de las Instalaciones FV del mundo estaban dedicadas a la Electrificación Rural.

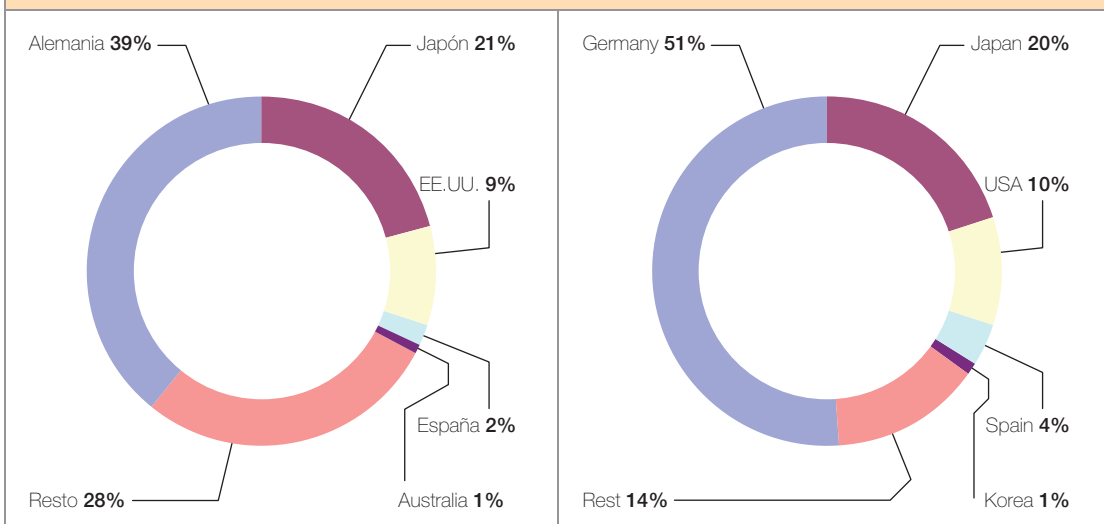
*Sistemas FV integrados en la fachada de un edificio*



**Figura 2.2: mercado FV anual mundial**



**Figura 2.3: "Top 5" mercados nacionales de Energía FV**



"Top 5" de capacidad instalada en 2006 (MWp)		"Top 5" de nueva capacidad en 2006 (MWp)	
Alemania	2.530 *	Alemania	750 *
Japón	1.708	Japón	290
EE.UU.	620	EE.UU.	141
España	120	España	63
Australia	70	Corea del Sur	21

\* Estimación

#### 4. Industrial sin Conexión a Red

##### Aplicaciones

Los usos industriales más comunes de la Energía Solar sin Conexión a Red se dan en el campo de las Telecomunicaciones, en especial para enlazar zonas rurales aisladas con el resto del país. En la India, por ejemplo, más de un tercio de la capacidad FV está

dedicado al sector de las Telecomunicaciones. Hay un gran potencial para los equipos repetidores de teléfonos móviles alimentados por Energía FV, o mediante Sistemas Híbridos FV/diésel.

Las plantas de desalinización son otra importante aplicación de los Sistemas FV sin Conexión a Red. Entre otras se incluyen también las señales de tráfico, las ayudas a la navegación marítima, los teléfonos de seguridad, los monito-

res meteorológicos o de contaminación, la iluminación a distancia, las señales de autopistas y las plantas de tratamiento de aguas residuales.

### **Desarrollo del mercado**

Además de evitar costes de combustible, sustituyendo total o parcialmente a los motores diésel, por ejemplo, los Sistemas FV industriales ofrecen gran fiabilidad y mínimo mantenimiento. Esto puede reducir drásticamente los costes de explotación y mantenimiento, en particular en lugares distantes o inaccesibles.

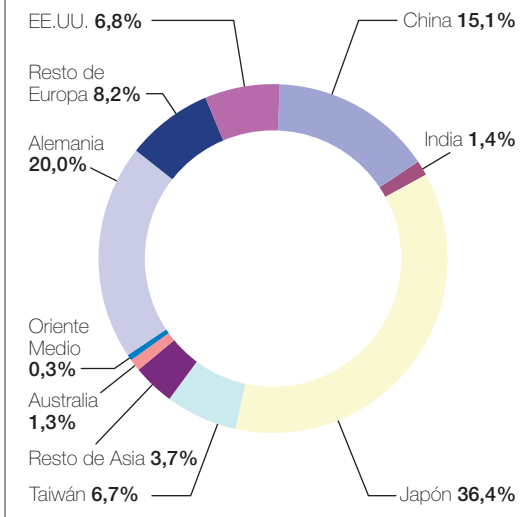
Se espera que la demanda de Sistemas FV industriales sin Conexión a Red siga aumentando durante la próxima década y más adelante, en especial como respuesta al crecimiento sostenido de la industria de las Telecomunicaciones. Los mástiles y equipos repetidores de telefonía móvil ofrecen un potencial muy grande, sobre todo en países con densidades de población muy bajas. La prestación de servicios de comunicación en zonas rurales de países en vías de desarrollo como parte de los paquetes de desarrollo social y económico será también una importante oportunidad para el mercado futuro de la Energía Fotovoltaica. En el año 2006, alrededor del 7% de las Instalaciones FV del mundo se emplearon en aplicaciones FV industriales sin Conexión a Red.

## **Mercado en el lado del suministro - Fabricación**

### **Silicio de grado solar**

El silicio es el material básico necesario para la producción de células solares basadas en la tecnología cristalina –el 93% del mercado mundial–. Por ello, la

**Figura 2.4: cuotas regionales y nacionales de fabricación de células FV en el mundo**



Fuente: Photon International

disponibilidad de silicio suficiente a unos precios razonables es una condición previa esencial para conseguir una Industria FV dinámica.

Hasta hace poco, la industria del silicio producía silicio de grado electrónico exclusivamente para el sector de los semiconductores, principalmente para uso en ordenadores. Sólo una pequeña parte se suministraba a la Industria FV, que representaba para los proveedores un buen modo de estabilizar las fluctuaciones de la demanda de la industria de los semiconductores. Sin embargo, con el crecimiento dinámico de la Industria FV en los últimos años, la situación ha cambiado. En 2006, aproximadamente la mitad de la producción mundial de silicio de grado electrónico se usó para fabricar células solares.

Esta demanda creciente ha provocado un cambio de orientación de la industria del silicio. El silicio para células solares puede ser de calidad inferior al que se requiere para los semiconductores y, por lo tanto, su fabricación puede ser más barata. Por ello, algunas compañías han empezado a desarrollar procesos para fabricar silicio de grado solar. No obstante, el desarrollo de estas líneas de fabricación y la construcción de las primeras fábricas tardarán aún algún tiempo. Por lo tanto, hasta que estén operativas todas las nuevas instalaciones de producción planificadas, la Industria FV seguirá compitiendo con la industria de los semiconductores en el suministro limitado disponible actualmente en el mercado.

Se espera que hacia 2008 la disponibilidad de silicio de grado solar para la Industria FV genere una situación mucho más relajada en el mercado del silicio.

*Vista aérea del Parlamento alemán con módulos FV integrados en el tejado*



Entre 2007 y 2010 se prevé una inversión de más de 4.000 millones de euros en la ampliación de las capacidades de producción de silicio.

### Producción de células y módulos solares

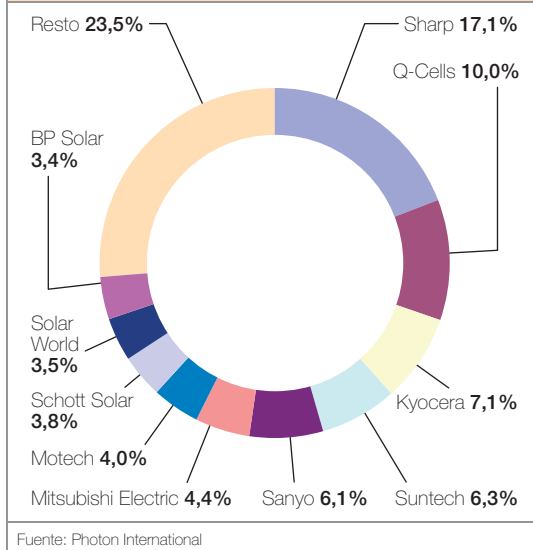
En 2007, se espera que el nivel de inversión en nuevas plantas de fabricación de células y módulos solares supere los 1.200 millones de euros, sin incluir las capacidades de fabricación de obleas y silicio. Esta cifra pone de manifiesto el ritmo al que se está expandiendo la Industria FV para satisfacer la demanda mundial.

Hasta ahora, la fabricación de células y módulos solares ha estado concentrada en tres zonas geográficas: Europa, Japón y Estados Unidos. No obstante, el país con mayor crecimiento en instalaciones de producción es China. En la Figura 2.5 se pueden ver las principales compañías productoras. Aunque hasta hace pocos años el mercado había estado dominado por BP Solar, una subsidiaria de la empresa petrolera multinacional, esta situación ha cambiado radicalmente con la entrada de nuevos actores japoneses y europeos. Más recientemente, la primera compañía en producción de células ha sido la empresa japonesa Sharp. Sin embargo, en 2007 Sharp ha seguido perdiendo cuota de mercado en relación con sus competidores, principalmente con las empresas con base en Alemania Q-Cells y Solarworld y la china Suntech. Todas ellas juntas han reducido la posición dominante de Sharp del 23,6% en 2005 al 17,1% en 2006. Las 10 principales compañías manejan algo más del 75% de toda la producción de células; casi todas ellas realizan en la actualidad fuertes inversiones en nuevas instalaciones de fabricación.

Una cuestión importante para los fabricantes es ser capaces de adaptar la apertura de la nueva capacidad de producción a la demanda prevista. Los inversores requieren un horizonte de planificación que vaya más allá del típico período de cinco a siete años de amortización de la fábrica. Con todo, algunas empresas más pequeñas han sido capaces de obtener inversiones de propiedad pública, a menudo a través de alguno de los fondos de inversión verdes que proliferan actualmente. Éste es el motivo por el que la relativa estabilidad de determinados modelos, como el sistema de primas alemán, ha demostrado ser decisiva para el compromiso comercial. Anticipándose al florecimiento del mercado, Alemania ha experimentado un incremento constante en la fabricación de células y módulos solares desde 1995 en adelante. Fomentada aún más por la Ley de Energía Renovable, actualizada en 2004, la producción anual de células FV aumentó de 32 MWp en 2001 a cerca de 500 MWp en 2006.

Cuanto más se escala en la cadena de valor de la Energía FV, menos compañías hay involucradas. En el extre-

**Figura 2.5: "Top 10" productores de células FV**



mo superior de la cadena, la producción de silicio exige un conocimiento técnico y una inversión considerables, como en el caso de la producción de obleas. En cambio, en el nivel de los fabricantes de células y módulos, donde las necesidades de técnica e inversión son menores, hay muchos más actores en el mercado. En el año 2006 se unieron al mercado al menos 42 fabricantes de obleas, células o módulos, aumentando el número total de compañías participantes hasta un mínimo de 150. Esta cifra sólo tiene en cuenta las empresas con capacidades superiores a 10 MWp. Al final de la cadena de valor, los instaladores suelen ser empresas pequeñas, de ámbito local.

*Instalación de módulos en el tejado de un edificio*





**Tercera parte:**  
**Futuro de la Energía Solar**

## Hipótesis 'Solar Generation' de Greenpeace/EPIA

### Metodología y supuestos

*Si se pretende que la Tecnología FV tenga un futuro prometedor como fuente de energía principal, deberá desarrollarse a partir de las experiencias de los países que ya han abierto el camino impulsando el mercado de la Electricidad Solar. En esta sección se contempla lo que podría lograr la Energía Solar –siempre que se den las condiciones de mercado adecuadas y la reducción de costes prevista– en las dos próximas décadas del siglo XXI. Además de las previsiones de la capacidad instalada y el rendimiento energético, también se valora aquí el nivel de inversión necesario, el número de puestos de trabajo que se crearían y el efecto decisivo que tendría el aumento del consumo de Energía Solar en las emisiones de gases de efecto invernadero (véase la Quinta parte: Ventajas de la Energía Solar).*

Las tres hipótesis de EPIA /Greenpeace que se describen a continuación se basan en las siguientes aportaciones esenciales:

- ❖ Los datos actuales del mercado fotovoltaico procedentes de fuentes fiables (gobiernos nacionales, Agencia Internacional de la Energía, Industria FV).
- ❖ El desarrollo del mercado FV en los últimos años, tanto a escala mundial como en regiones específicas.
- ❖ Los programas de apoyo a los mercados nacional y regional.

*Proceso de producción de células FV*



- ❖ Los objetivos nacionales de Instalaciones FV y capacidad de fabricación.
- ❖ El potencial FV en los aspectos de irradiación solar, disponibilidad de espacio adecuado en los tejados y demanda de electricidad en zonas no conectadas a la Red.

### 1. Hipótesis Avanzada

Esta hipótesis se basa en el supuesto de que unos mecanismos adicionales de apoyo al mercado continuados propiciarán una expansión dinámica de la capacidad FV instalada en todo el mundo. Los programas de apoyo al mercado generan economías de escala, por lo que los precios de la Energía FV descenderán con mayor rapidez, impulsando con más fuerza al mercado. A pesar de que esos programas de mercado están diseñados para ser únicamente medios de apoyo temporales, son decisivos en la preparación de un entorno comercial estable. **EPIA y Greenpeace creen firmemente que esta hipótesis se puede hacer realidad si se obtiene el apoyo político necesario.**

#### Tasas de crecimiento del mercado en la hipótesis Avanzada

Tasa de crecimiento media 2007-2010	40%
Tasa de crecimiento media 2011-2020	23%
Tasa de crecimiento media 2021-2030	15%

### 2. Hipótesis Moderada

Esta hipótesis contempla el desarrollo de la Energía FV en una situación de menor compromiso político. A largo plazo, la separación entre las hipótesis Moderada y Avanzada aumenta considerablemente. Con un apoyo político mundial insuficiente es difícil conseguir un despliegue rápido del mercado. Sin el potencial de las economías de escala, los costes de producción y los precios de la Energía FV descenderán más lentamente que en la hipótesis Avanzada, ralentizando el despliegue de la Energía FV.

#### Tasas de crecimiento del mercado en la hipótesis Moderada

Tasa de crecimiento media 2007-2010	30%
Tasa de crecimiento media 2011-2020	21%
Tasa de crecimiento media 2021-2030	12%



### 3. Hipótesis de referencia de la AIE

La *hipótesis de Referencia* se basa en los pronósticos de capacidad FV del último "World Energy Outlook" (WEO 2006) de la Agencia Internacional de la Energía. El WEO 2006 registra las estadísticas del mercado real hasta 2004 y, a partir de ahí, elabora su hipótesis sobre la base de estos valores. Solar Generation actualiza la valoración de la AIE con estadísticas del mercado real hasta 2006 y, a continuación, usa las estimaciones de la AIE para proyectarlas hacia delante. En la hipótesis de Referencia de la AIE, las fuentes de energía convencionales siguen dominando en el futuro previsto. **Por lo tanto, esta hipótesis puede ser considerada como un medio para que los responsables de la política vean cómo sería un futuro de energía no sostenible, en comparación con la hipótesis Avanzada de Solar Generation.**

<b>Tasas de crecimiento del mercado en la hipótesis de Referencia de la AIE</b>	
Tasa de crecimiento media 2007-2010	16%
Tasa de crecimiento media 2011-2020	13%
Tasa de crecimiento media 2021-2030	10%

Las tasas de crecimiento presentadas en todas las hipótesis son un promedio calculado a partir de tasas variables de crecimiento anual.

Para mostrar el efecto de estas hipótesis en los aspectos de suministro eléctrico y reducción de dióxido de carbono se han empleado los siguientes supuestos:

#### **Consumo de electricidad**

Se han considerado dos supuestos respecto al crecimiento esperado de la demanda de electricidad en las primeras décadas del siglo XXI. La 'hipótesis de Referencia' de crecimiento de la demanda de electricidad en el mundo, con respecto a la cual se puede valorar el porcentaje de contribución de la Energía FV, se ha extraído de las previsiones de la Agencia Internacional de la Energía (WEO 2006). Estas previsiones muestran un aumento de la demanda mundial de energía de 14.374 TWh en 2004 a 17.467 TWh en 2010, 22.775 TWh en 2020, 28.098 TWh en 2030 y 31.951 TWh en 2040 (extrapolados).

La '*hipótesis Alternativa*' de demanda de electricidad en el futuro se basa en el informe sobre la Revolución Energética de Greenpeace y el Consejo Europeo de Energía Renovable (Enero de 2007), y considera la aplicación intensiva de medidas de eficiencia energética para reducir el consumo de electricidad final. Esta hipótesis muestra un aumento de la demanda de energía en el mundo de 13.675 TWh en 2003 a 14.188 TWh en 2010, 16.614 TWh en 2020, 19.189 TWh en 2030 y 22.516 TWh en 2040. Por lo tanto, la contribución FV es mayor en esta previsión.

#### **Reducción de las emisiones de dióxido de carbono**

Un Sistema Solar sin Conexión a Red que sustituya a un grupo electrógeno diésel típico reducirá alrededor de 1 Kg de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora producido. La cantidad de CO<sub>2</sub> reducida por los Sistemas FV conectados a la Red depende del perfil de producción de electricidad existente en distintos países. La cifra media mundial se ha establecido en 0,6 Kg de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora. Así pues, en todo el período de la hipótesis se ha supuesto que las Instalaciones FV conseguirán una reducción media de 0,6 Kg de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora.

Las hipótesis se subdividen a su vez en dos vías: en las cuatro principales divisiones del mercado mundial (aplicaciones de consumo, Conexión a Red, industrial a distancia y rural aislada), y en las regiones del mundo tal como se definen en las previsiones de la demanda futura de electricidad realizadas por la Agencia Internacional de la Energía. Estas regiones son OCDE Europa, OCDE Pacífico, OCDE Norteamérica, Latinoamérica, Asia Occidental, Asia Meridional, China, Oriente Medio, África y Economías en Transición (principalmente la antigua Unión Soviética).

*Gran Planta Solar en España*



**Tabla 3.1: resultados de la hipótesis Solar Generation para el mercado FV mundial hasta 2030**

	Situación actual		Hipótesis	
	2006	2010	2020	2030
<b>Hipótesis Avanzada</b>				
Instalaciones anuales en GW	1,5	5,6	44	179
Capacidad acumulativa en GW	6,6	21,9	241	1.272
Producción de electricidad en TWh	8	25	320	1.802
Contribución FV al consumo de electricidad – hipótesis de Referencia (AIE)	0,05%	0,14%	1,83%	6,41%
Contribución FV al consumo de electricidad – hipótesis Alternativa	0,05%	0,18%	1,93%	9,39%
Personas con Conexión a Red en millones	5	15	157	776
Personas sin Conexión a Red en millones	10	61	966	2.894
Puestos de trabajo en millares	74	271	1.840	6.329
Valor del mercado en miles de millones de euros	9	25	113	318
Reducción anual de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas	5	15	192	1.081
Reducción acumulativa de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas	20	61	898	6.671

<b>Hipótesis Moderada</b>				
Instalaciones anuales en GW	1,5	4,2	28	84
Capacidad acumulativa en GW	6,6	18,4	170	728
Producción de electricidad en TWh	8	21	225	1.027
Contribución FV al consumo de electricidad – hipótesis de Referencia (AIE)	0,05%	0,12%	0,99%	3,66%
Contribución FV al consumo de electricidad – hipótesis Alternativa	0,05%	0,15%	1,36%	5,35%
Personas con Conexión a Red en millones	5	13	111	450
Personas sin Conexión a Red en millones	10	50	669	1.613
Puestos de trabajo en millares	74	201	1.165	2.963
Valor del mercado en miles de millones de euros	9	20	79	172
Reducción anual de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas	5	13	135	616
Reducción acumulativa de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas	20	56	680	4.252

<b>Hipótesis de Referencia de la AIE</b>				
Instalaciones anuales en GW	1,5	1,4	3	8
Capacidad acumulativa en GW	6,6	9,9	33	87
Producción de electricidad en TWh	8	12	50	142
Contribución FV al consumo de electricidad – hipótesis de Referencia (AIE)	0,05%	0,07%	0,22%	0,50%
Contribución FV al consumo de electricidad – hipótesis Alternativa	0,05%	0,08%	0,30%	0,74%
Personas con Conexión a Red en millones	5	8	24	58
Personas sin Conexión a Red en millones	10	27	113	176
Puestos de trabajo en millares	74	67	127	287
Valor del mercado en miles de millones de euros	9	6	11	23
Reducción anual de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas	5	6	27	77
Reducción acumulativa de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas	20	39	203	705

<b>Previsión para 2040 en la hipótesis Avanzada</b>	
Contribución FV a la demanda de electricidad mundial (hipótesis de electricidad de la AIE)	20%
Contribución FV a la demanda de electricidad mundial (hipótesis Alternativa: gran eficiencia energética)	28%

**Tabla 3.2: hipótesis Solar Generation: desarrollo del mercado FV (capacidad instalada anual) hasta 2010**

	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Hipótesis Avanzada</b>	1.467 MWp	2.179 MWp	3.130 MWp	4.340 MWp	5.650 MWp
<b>Hipótesis Moderada</b>	1.467 MWp	1.907 MWp	2.479 MWp	3.223 MWp	4.189 MWp
<b>Hipótesis de la AIE</b>	1.467 MWp*	888 MWp	1.035 MWp	1.204 MWp	1.401 MWp

\*Para el año 2006 se da la cifra de mercado real de la EPIA. Para los años siguientes los valores se basan en la extrapolación de los datos de la AIE.

### Resultados clave

Los resultados de las hipótesis de Greenpeace/EPIA 'Solar Generation' muestran claramente que, incluso desde una línea base relativamente baja, la Electricidad FV tiene el potencial de contribuir de forma relevante tanto al suministro mundial de energía del futuro como a la reducción del impacto del cambio climático. En la Tabla 3.1 se pueden ver las cifras más importantes para el período completo de la hipótesis hasta 2030, y en la Tabla 3.2 se presentan los resultados de capacidad anual hasta 2010.

Así pues, la *hipótesis Avanzada de Solar Generation* muestra que, en el año 2030, los Sistemas FV podrían generar aproximadamente 1.800 teravatios hora de electricidad en todo el mundo. **Esto significa que, en poco más de veinte años, se produciría en el mundo Energía Solar suficiente para satisfacer las necesidades de electricidad actuales del 60% de los países OCDE Europa.**

De acuerdo con esta hipótesis, la capacidad instalada de los Sistemas de Energía Solar en el mundo llegaría a 1.272 GWp en 2030. Aproximadamente el 60% de esta cifra estaría en el mercado de Conexión a Red, principalmente en países industrializados. En esa época, el número total de personas que recibirían suministro de electricidad doméstica de Sistemas Solares conectados a la Red (incluidos los integrados en edificios, los sistemas a gran escala y los instalados sobre tejados) llegaría a unos 776 millones. Sólo en Europa habría unos 220 millones de personas que recibirían su suministro de electricidad doméstica de la Electricidad Solar conectada a la Red. Estos cálculos se basan en familias promedio de 2,5 personas y un consumo medio de electricidad anual de 3.800 kWh.

En el mundo no industrializado, para el año 2030 se prevé una capacidad solar instalada para Electrificación Rural de alrededor de 290 GWp. En este caso se supone que, como media, un sistema independiente de 100 Wp cubrirá actualmente las necesidades de

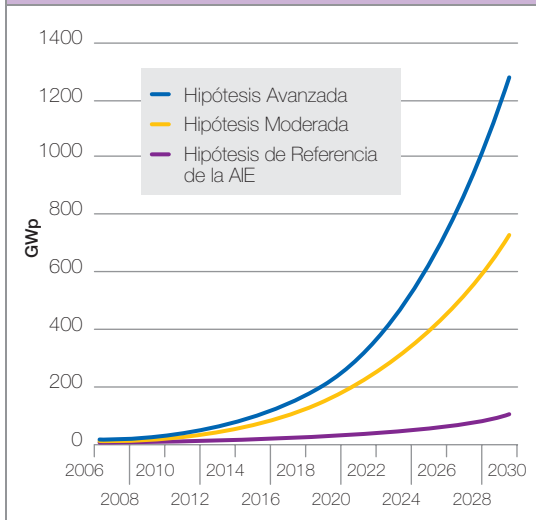
electricidad básicas de tres personas por hogar. Con el paso del tiempo se espera el uso de sistemas más grandes para Electrificación Rural. Sin embargo, los tamaños de los sistemas en los países en vías de desarrollo son actualmente mucho más pequeños que las aplicaciones conectadas a la Red de los países desarrollados, y la densidad de población es mayor. **Esto significa que, en esa época, usarán Electricidad Solar en los países en desarrollo hasta 2.900 millones de personas.** Esto representaría un gran avance para la tecnología desde su estado emergente actual.

En 2040, la penetración de Solar Generation sería aún más profunda. Suponiendo que el consumo de energía general del mundo se hubiera incrementado en esa época tal como se esperaba, **la contribución solar equivaldría al 20%-28% del consumo energético mundial, dependiendo de la hipótesis utilizada para establecer el consumo eléctrico.** Ello situaría a la Energía Solar en el mapa como una fuente de energía sólidamente establecida.

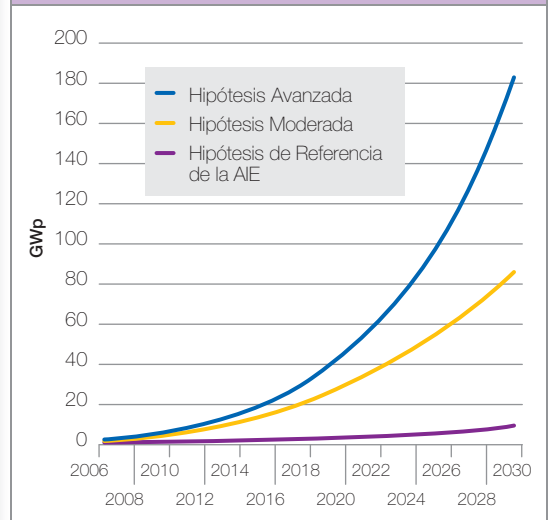
*Línea de producción de módulos FV*



**Figura 3.1: capacidad FV acumulativa mundial hasta 2030**



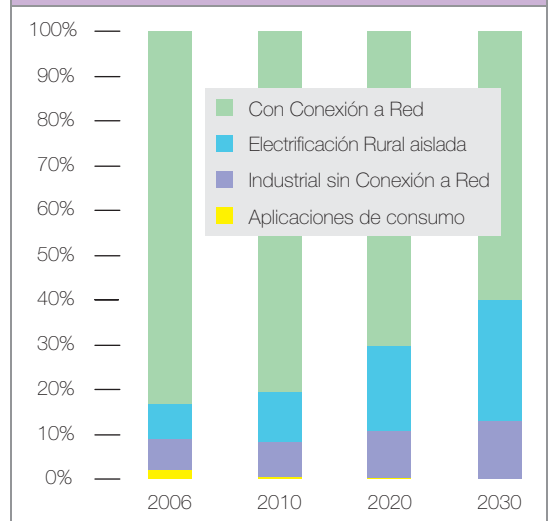
**Figura 3.2: capacidad FV instalada al año en el mundo hasta 2030**



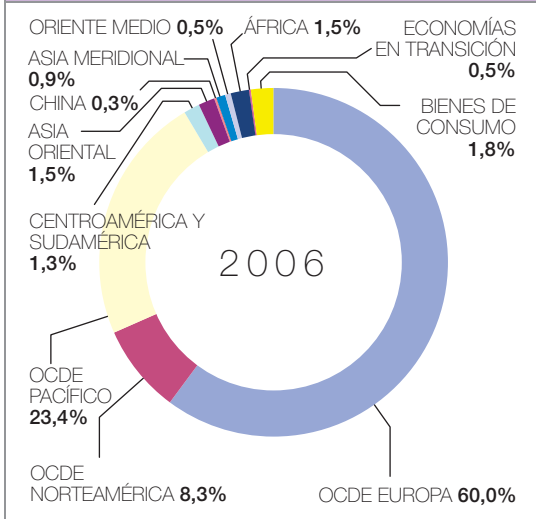
La *Figura 3.1* ilustra el desarrollo de la capacidad FV instalada acumulativa en las tres distintas hipótesis. Al término del período considerado, en 2030 los resultados difieren considerablemente. El resultado más favorable es el de la hipótesis Avanzada, que se basa en el crecimiento positivo de la Energía FV hasta 2015, poniendo de relieve la importancia del compromiso político en los próximos años. Así, un apoyo adecuado a la Energía FV durante este período (véase la *Sexta parte: Medidas impulsoras*) facilitaría la consecución de la hipótesis Avanzada. En particular, es esencial el desarrollo temprano de las relaciones dinámicas entre la producción en serie y la reducción de costes, para lograr el establecimiento de la Energía FV como una fuente de energía relevante a escala mundial.

La *Figura 3.3* ilustra el desarrollo comparativo esperado de los distintos tipos de aplicaciones FV. Se espera que todas ellas (Conexión a Red, Electrificación Rural aislada, industrial sin Conexión a Red y aplicaciones de consumo) crezcan en valores absolutos (MWp). Sin embargo, el sector conectado a la Red, actualmente muy dominante con una representación aproximada del 85% del mercado, perderá cuota en beneficio de las aplicaciones sin Conexión a Red. En particular, por su inmenso potencial, la Electrificación Rural experimentará un crecimiento considerable.

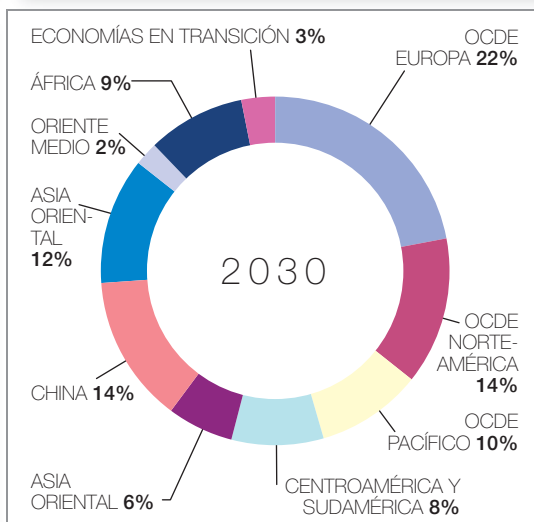
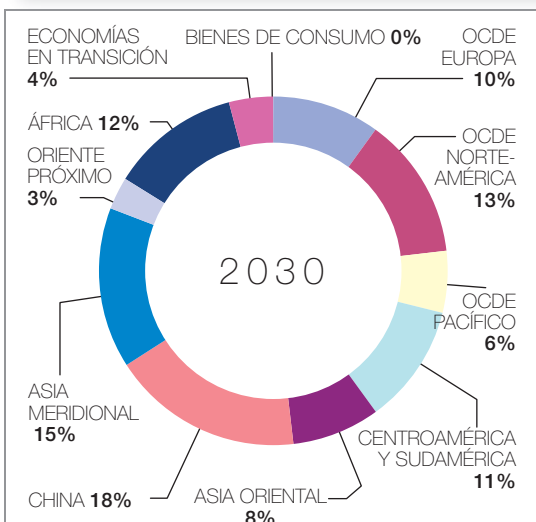
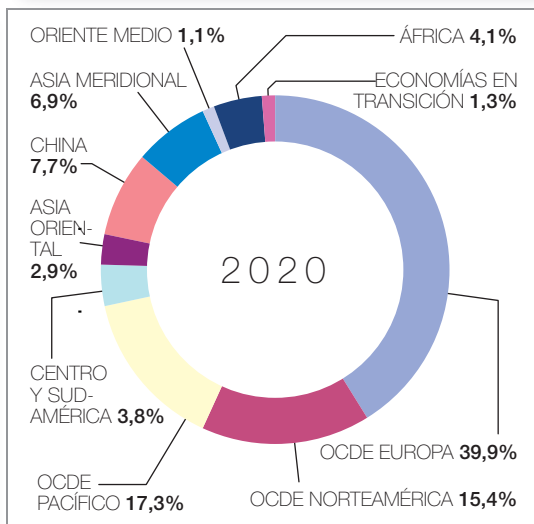
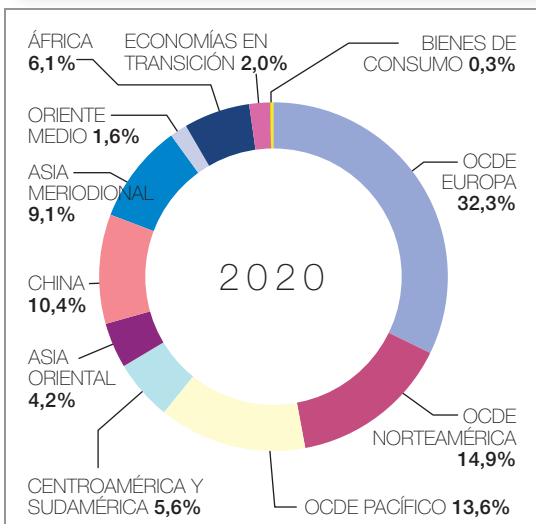
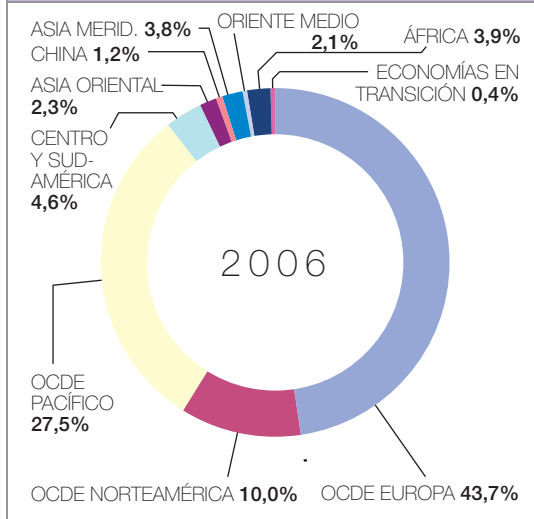
**Figura 3.3: instalaciones FV anuales por aplicación**



**Figura 3.4: instalaciones FV anuales por cuota regional**



**Figura 3.5: instalaciones FV acumulativas por cuota regional**



**Tabla 3.3: valor de mercado (anual) de los Sistemas FV hasta 2030 en la hipótesis Avanzada (en millones de euros)**

Año	Europa	Norte-américa	OCDE Pacífico	Centro-américa y Sudamérica	Asia Oriental	China	Asia Meridional	Oriente Medio	África	Economías en Transición	Total
2006	5.129	900	1.962	126	138	72	84	48	138	48	8.645
2010	13.467	4.125	5.088	186	204	899	917	71	204	71	25.231
2015	25.134	9.199	10.112	1.654	1.318	3.857	3.521	485	1.806	607	57.694
2020	36.662	16.957	15.499	6.331	4.755	11.865	10.289	1.771	6.909	2.309	113.347
2025	39.643	26.192	18.422	15.546	11.430	26.680	22.564	4.276	16.960	5.659	187.372
2030	31.784	41.319	19.070	34.962	25.427	57.211	47.676	9.535	38.141	12.714	317.840

Excluidos los bienes de consumo

**Tabla 3.4: inversión en nuevas capacidades de producción en la hipótesis Avanzada (en millones de euros)**

	2007	2008	2009	2010	Total
<b>Silicio</b>	762	1.114	1.185	1.144	4.205
<b>Obleas</b>	667	807	765	901	3.140
<b>Células</b>	381	461	437	515	1.794
<b>Módulos</b>	381	461	437	515	1.794
<b>Thin film</b>	473	719	1.089	644	2.924
<b>Total</b>	2.663	3.563	3.913	3.718	13.857

Las Figuras 3.4 y 3.5 muestran el desglose de las hipótesis de Solar Generation en las distintas regiones del mundo. Las instalaciones anuales (Figura 3.4) y las capacidades acumulativas (Figura 3.5) se presentan como una proporción de la cifra de mercado real, según la hipótesis. En ambos casos, OCDE Europa es la

región dominante en el despliegue FV, seguida por OCDE Pacífico y OCDE Norteamérica. A lo largo del tiempo se espera que ganen cuota otras regiones del mundo en detrimento de las primeras regiones actuales. En 2030 se puede prever un mercado mundial diversificado, en el que regiones como China y África aportarán una contribución significativa.

Gran Planta de Energía FV con módulos solares de thin film



Las Tablas 3.3 y 3.5 calculan el valor de mercado proyectado de los Sistemas FV hasta 2030 según las hipótesis Avanzada y Moderada, respectivamente. Se demuestra que, al final del período de la hipótesis, el valor anual del mercado FV alcanzaría un valor de 318.000 millones de euros en todo el mundo según la hipótesis Avanzada, y de 172.000 millones de euros según la hipótesis Moderada.

**Tabla 3.5: valor de mercado (anual) de los Sistemas FV hasta 2030 en la hipótesis Moderada (en millones de euros)**

Año	Europa	Norte-américa	OCDE Pacífico	Centro-américa y Sudamérica	Asia Oriental	China	Asia Meridional	Oriente Medio	África	Economías en Transición	Total
2006	5.129	900	1.962	126	138	72	84	48	138	48	8.645
2010	10.492	3.214	3.962	145	159	700	714	55	159	55	19.656
2015	19.656	7.194	7.908	1.294	1.031	3.017	2.754	379	1.413	475	45.119
2020	25.533	11.810	10.794	4.409	3.312	8.263	7.165	973	4.812	1.608	78.679
2025	26.012	17.187	12.088	10.201	7.500	17.506	14.806	2.368	11.129	3.713	122.510
2030	17.215	22.380	10.329	18.937	13.772	30.987	25.823	5.165	20.658	6.886	172.151

Excluidos los bienes de consumo

**Tabla 3.6: inversión en nuevas capacidades de producción en la hipótesis Moderada (en millones de euros)**

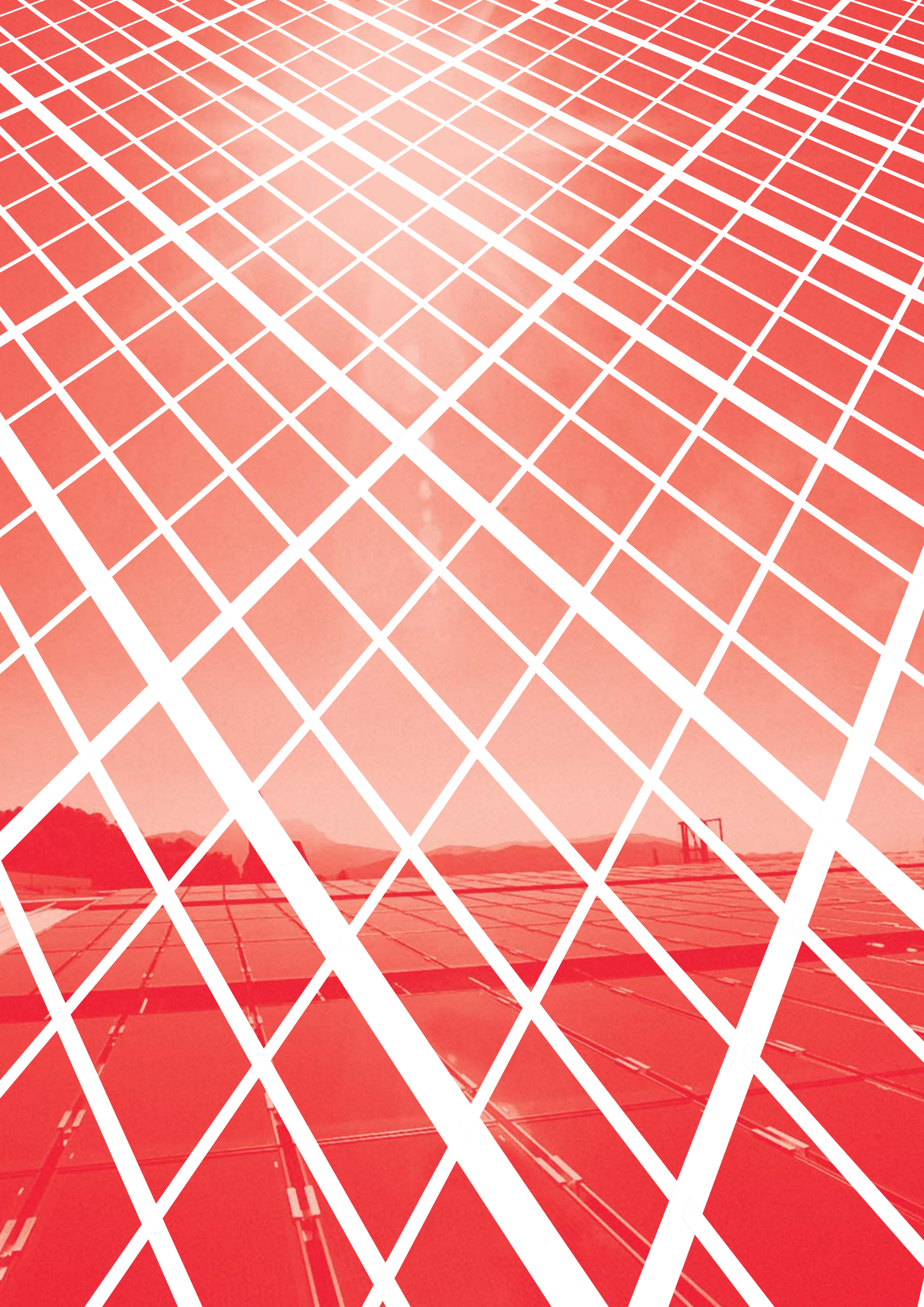
	2007	2008	2009	2010	Total
<b>Silicio</b>	440	693	874	1.117	3.125
<b>Obleas</b>	385	482	564	880	2.311
<b>Células</b>	220	275	322	503	1.320
<b>Módulos</b>	220	275	322	503	1.320
<b>Thin film</b>	329	483	806	628	2.246
<b>Total</b>	1.595	2.208	2.889	3.631	10.323

Para adaptarse al crecimiento de la demanda proyectado en las hipótesis, las compañías situadas a lo largo de la cadena de valor de la Energía FV tienen que ampliar sus capacidades de producción. Las *Tablas 3.4 y 3.6* presentan el desglose de la inversión necesaria en la Industria FV hasta el año 2010. El nivel más alto de inversión lo requieren la producción de silicio y la ampliación de las capacidades de producción de thin film. La *hipótesis Avanzada* proyecta una inversión total cercana a los 14.000 millones de euros en el período hasta 2010.

No obstante, a raíz de las conversaciones en curso acerca del nivel de apoyo gubernamental, se ha señalado que una parte considerable del rendimiento industrial se reinvertirá en nuevas líneas de producción. A pesar de que a largo plazo esto tendrá un impacto positivo en los precios de la Energía FV por el efecto de las economías de escala, esta reinversión limitará inevitablemente a corto plazo el nivel potencial de reducción de precios.

*Gran Planta de Energía FV en Castejón, España*







Cuarta parte:

**Costes y competitividad**

*Uno de los principales argumentos que esgrimen los críticos de la Electricidad Solar es que los costes todavía no pueden competir con los de las fuentes de energía convencionales. Esto en parte es verdad. Sin embargo, al valorar la competitividad de la Energía Solar Fotovoltaica se deben tener en cuenta una serie de consideraciones:*

- ❖ **El tipo de aplicación FV –conectada a la Red, no conectada a la Red, o bienes de consumo–.**
- ❖ **¿Contra qué compite exactamente la Energía FV? ¿Cuáles son las alternativas?**
- ❖ **La situación geográfica, los costes de inversión iniciales y el tiempo de vida previsto del sistema.**
- ❖ **El coste de generación real, sin olvidar que las fuentes convencionales reciben subsidios cuantiosos, y que no se tienen en cuenta sus costes “externos” en contaminación y otros efectos.**
- ❖ **El progreso que se está realizando en la reducción del coste de la Energía FV.**

#### **Competitividad de las aplicaciones de consumo**

Las aplicaciones FV de consumo no reciben ningún subsidio y llevan mucho tiempo en el mercado. Ya han demostrado con ello su competitividad. Las aplicaciones de consumo no sólo proporcionan más comodidad, sino que también sustituyen con frecuencia a las baterías peligrosas desde el punto de vista medioambiental.

Gran Planta de  
Energía FV



#### **Competitividad de las aplicaciones no conectadas a la Red**

La mayoría de las aplicaciones no conectadas a la Red son ya rentables en comparación con las opciones alternativas. La Energía FV compite normalmente con los generadores diésel o la ampliación potencial de la Red Eléctrica pública. Los costes de combustible de los generadores diésel son elevados, mientras que el “combustible” de la Energía Solar es gratis e inagotable.

Los altos costes de inversión de la Instalación de Sistemas de Energía Renovable se comparan a menudo de forma impropia con los de las tecnologías de energías convencionales. De hecho, en especial en localidades alejadas, la combinación de bajos costes de explotación y mantenimiento, la ausencia de gastos de combustible, el aumento de la fiabilidad y los tiempos de vida útil más largos son factores que compensan los costes de inversión iniciales. El factor del ciclo de vida no se suele tener en cuenta normalmente en la base de comparación.

La otra alternativa principal para la Electrificación Rural, la ampliación de la Red Eléctrica, requiere una inversión considerable. Por ello, las aplicaciones no conectadas a la Red suelen ser la opción más adecuada para suministrar electricidad a comunidades dispersas, o a las que se encuentran a grandes distancias de la Red. Sin embargo, a pesar de que los costes de explotación en el tiempo de vida útil de los Sistemas FV no conectados a la Red son muy inferiores a los de otras fuentes de energía, los costes de inversión iniciales pueden seguir representando un obstáculo para las personas con recursos económicos escasos.

#### **Competitividad de las aplicaciones conectadas a la Red**

Las aplicaciones conectadas a la Red representan, en la actualidad, el mayor sector del mercado y está previsto que sigan siéndolo en el futuro. Los costes de generación de los Sistemas FV domésticos, en la mayoría de los casos, todavía no son competitivos con los precios de la electricidad residencial, a no ser que existan programas de apoyo. Los precios de la electricidad varían enormemente, incluso en el seno de los 27 países de la UE, con unos precios de electricidad residencial en 2006 situados en un intervalo entre 7 y 24 céntimos de euro por kWh (con todos los impuestos incluidos), según Eurostat. La tendencia más reciente ha sido también el incremento continuo. De 2005 a 2007 los precios de la electricidad en los 27 países de la UE experimentaron una subida media del 16%. Paralelamente, los costes de generación de Energía FV han ido disminuyendo y, en los próximos años, se prevé una aceleración de esta tendencia.

**Tabla 4.1: costes de generación FV previstos para sistemas de tejado en distintas ciudades del mundo**

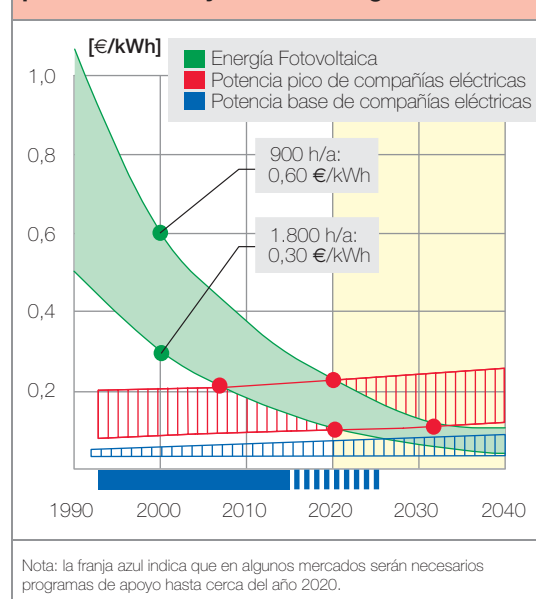
	Horas de sol	2006	2010	2020	2030
Berlín	900	0,45 €	0,35 €	0,20 €	0,13 €
París	1.000	0,40 €	0,31 €	0,18 €	0,12 €
Washington	1.200	0,34 €	0,26 €	0,15 €	0,10 €
Hong Kong	1.300	0,31 €	0,24 €	0,14 €	0,09 €
Sidney/Buenos Aires/ Bombay/Madrid	1.400	0,29 €	0,22 €	0,13 €	0,08 €
Bangkok	1.600	0,25 €	0,20 €	0,11 €	0,07 €
Los Ángeles/Dubai	1.800	0,22 €	0,17 €	0,10 €	0,07 €

Nota: se ha cambiado el método de cálculo que se empleó en la edición anterior de 'Solar Generation'.

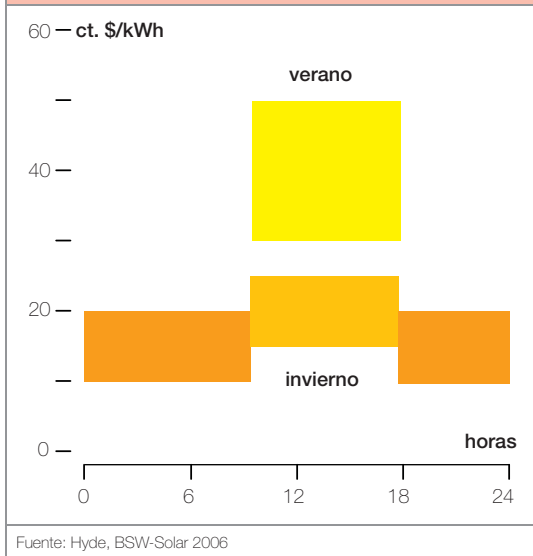
La forma más simple de calcular el coste por kWh es dividiendo el precio del Sistema FV entre el número de kWh que generará a lo largo de su vida útil. Sin embargo, tal vez haya que tener en cuenta otras variables como los costes de financiación. Las cifras del coste por kWh de los Sistemas conectados a la Red difieren con frecuencia, dependiendo de los supuestos que se consideren respecto a los costes del sistema, la disponibilidad de luz solar, el tiempo de vida del sistema y el tipo de financiación. La *Tabla 4.1* incluye los costes de financiación (a un interés del 5%) y un tiempo de vida de 25 años, que equivale al período de garantía de rendimiento de muchos productores de módulos. Los valores se basan en los precios previstos del sistema en la *hipótesis Avanzada*, en la que se presupone que el fuerte crecimiento de la industria haga bajar los precios.

Los valores de la *Tabla 4.1*, que presentan los costes de generación FV para pequeños sistemas distribuidos en algunas de las principales ciudades del mundo, muestran que, en 2020, el coste de la Electricidad Solar se habrá reducido más de la mitad. Esto lo haría competitivo con los precios normales que se pagan por la electricidad de consumo doméstico; la razón de esto es que, mientras que los costes de generación FV descienden de continuo, los precios de la electricidad general subirán previsiblemente. En el momento en que se equiparen los costes de la Energía FV y los precios de la electricidad residencial, se habrá conseguido la 'paridad de Red'. Con la paridad de Red, cada kWh de Energía FV consumido supondrá un ahorro económico con respecto a la energía, más cara, de la Red. Se espera que la paridad de Red se alcanzará inicialmente en los países meridionales y que después se extenderá sistemáticamente hacia el Norte.

La *Figura 4.1* muestra los desarrollos histórico y previsto de los costes de la Electricidad Solar. Las curvas descendentes muestran la reducción de los costes en la zona geográfica situada entre el Centro de Europa, por ejemplo en el Norte de Alemania (curva superior) y el límite Sur de Europa (curva inferior). En contraste con la reducción de costes de la Electricidad Solar, se prevé una subida del precio de la electricidad convencional. Los precios de la electricidad suministrada por las compañías eléctricas tienen que ser divididos en los precios de la potencia pico (que se aplican hacia la mitad del día) y los de la potencia base. En el Sur de Europa, la Electricidad Solar será rentable con respecto a la energía de pico en los próximos años. Las zonas con menos irradiación, como Europa Central, seguirán la tendencia a lo largo del período hasta 2020.

**Figura 4.1: desarrollo de los precios de las compañías eléctricas y los costes de generación FV**

**Figura 4.2: intervalo de precios de la electricidad doméstica en California**



La Energía FV ya es competitiva en esos mercados durante las horas de máxima demanda. La *Figura 4.2* ilustra la variación significativa y los elevados precios en los períodos de pico de la electricidad doméstica en el mercado californiano.

Se ha de destacar aquí que los precios de la energía convencional no reflejan los costes de producción reales. En muchos países, las fuentes de electricidad convencionales, como la energía nuclear, el carbón o el gas han recibido cuantiosas subvenciones durante muchos años. Por ello, el apoyo financiero a las fuentes de Energía Renovables, como la FV, que se ofrecerán hasta alcanzar la rentabilidad, deberá interpretarse como una compensación de los subsidios pagados a las fuentes convencionales en las pasadas décadas.

#### **Costes externos de la generación de electricidad convencional**

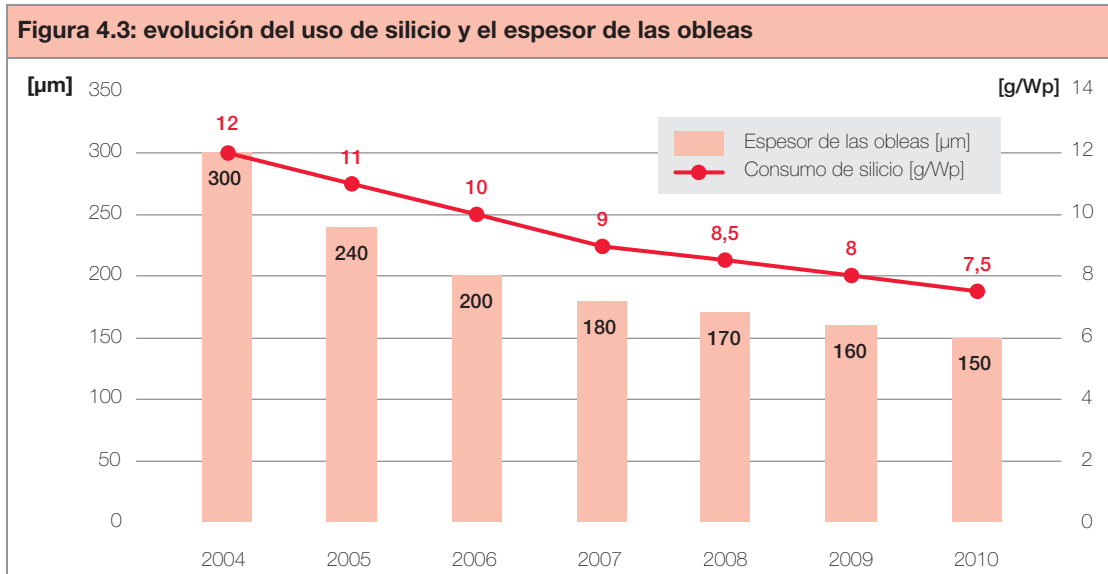
En algunos países con un mercado de suministro energético más liberalizado, los precios de la electricidad son más sensibles a los picos de demanda. En California y Japón, por ejemplo, los precios de la electricidad aumentan significativamente durante el día, en especial en verano, ya que la demanda de electricidad es más alta en ese período. El día, sobre todo en verano, es también el período en que la cantidad de electricidad producida por los Sistemas FV es más elevada. Por este motivo, la Energía FV sirve al mercado exactamente en el punto en que la demanda es mayor.

La mayoría de los precios de electricidad no incluyen los costes externos para la sociedad derivados de la combustión de fósiles o la producción de energía nuclear. Estos costes tienen un componente local y otro mundial, estando este último vinculado principalmente a las consecuencias del cambio climático. Sin embargo, existe incertidumbre respecto a la magnitud de dichos costes y es difícil identificarlos. Un acreditado estudio europeo, el proyecto 'Extern E', ha evaluado los costes de los combustibles fósiles dentro de un amplio intervalo considerando tres niveles:

- ❖ **Bajo: 4,3 \$ por tonelada de CO<sub>2</sub>.**
- ❖ **Medio: de 20,7 \$ a 52,9 \$ por tonelada de CO<sub>2</sub>.**
- ❖ **Alto: 160 \$ por tonelada de CO<sub>2</sub>.**

*Pérgola FV en el Fórum de Barcelona*





Bajo un enfoque conservador, el valor de los costes externos de las emisiones de dióxido de carbono procedentes de los combustibles fósiles podría estar comprendido en el intervalo de 10 \$ a 20 \$ por tonelada de CO<sub>2</sub>. Como se explica en el capítulo 'Ventajas de la Energía Solar', la Energía FV reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> en una media de 0,6 Kg/kWh. El coste medio resultante evitado por cada kWh producido por la Energía Solar estaría, por lo tanto, en el intervalo de 0,25 a 9,6 cts. USD por kWh. El informe Stern sobre el cambio climático, publicado por el Gobierno del Reino Unido en 2006, concluyó que toda inversión que se realice ahora para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> se recuperará fácilmente en el futuro, al evitarse los costes externos del consumo de combustibles fósiles.

#### **Factores que afectan a la reducción del coste de la Energía FV**

El coste de la producción de módulos fotovoltaicos y todos los demás componentes del sistema se ha reducido drásticamente desde el lanzamiento al mercado de los primeros Sistemas FV. Algunos de los principales factores responsables de esta reducción han sido:

- ❖ Las innovaciones y los avances tecnológicos.
- ❖ El aumento de la tasa de rendimiento de la Energía FV.
- ❖ La ampliación del tiempo de vida de los Sistemas FV.
- ❖ Las economías de escala.

Estos factores generarán también más reducciones en los costes de producción. Es claramente una meta fundamental para la Industria Solar garantizar un descenso drástico de los precios en los próximos años. Con estos antecedentes, la EPIA ha fijado objetivos específicos en el ámbito de los avances tecnológicos:

**Objetivos en el campo de las células cristalinas**  
**Alcanzar un nivel de eficiencia cristalina Cz del 20% en 2010 y del 22% en 2020.**

**Alcanzar un nivel de eficiencia cristalina Mz del 18% en 2010 y del 20% en 2020.**

**Alcanzar un nivel de eficiencia de ribbon sheet del 17% en 2010 y del 19% en 2020**

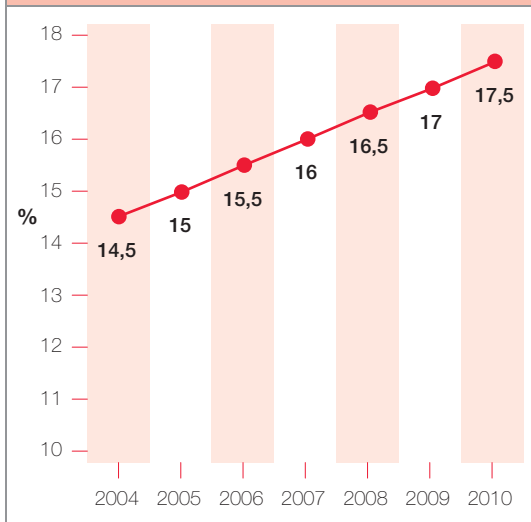
**Objetivos en el campo de la tecnología thin film**  
**Alcanzar un nivel de eficiencia de thin film entre el 10% y el 12% (para a-Si/mc-Si, CIS y CdTe) en 2010, y del 15% en 2020.**

**Reducción de los costes de los Sistemas FV integrados en edificios al 50% entre 2005 y 2010, y un 50% más en 2020.**

**Aumento del área de procesamiento de Energía FV industrial típica de 1 m<sup>2</sup> a 3 m<sup>2</sup> en 2010, y a 9 m<sup>2</sup> en 2020.**

**Aumentando la eficiencia de los módulos FV** se reducirán los costes de producción por kWh tanto en la tecnología de células cristalinas como en la de thin film. Al mismo tiempo se usará cada vez menos materia prima, especialmente en tecnologías cristalinas. La capacidad de producir obleas más finas reducirá el consumo de silicio y por lo tanto los costes, así como el plazo de retorno energético de los Sistemas FV.

**Figura 4.4: evolución de la eficacia media de las células cristalinas**



No obstante, el perfeccionamiento de las tecnologías existentes no es el único factor que hará bajar los costes de producción. Las inversiones en I+D+i de la Energía FV aumentan y ofrecen resultados prometedores para las nuevas tecnologías a partir de la aplicación de procesos de producción innovadores, o el uso de materias primas diferentes. Un buen ejemplo de reducción de costes significativa fue el desarrollo de las tecnologías de thin film. Se pueden esperar avances similares de las tecnologías futuras, como las células orgánicas o la nanotecnología.

La calidad del Sistema FV es también un parámetro que influye en el coste por kWh. La calidad del sistema se refleja en su **tasa de rendimiento**. Ésta es la tasa de electricidad medida en el lado de corriente alterna del contador de electricidad, en comparación con la cantidad de electricidad generada originalmente por los módulos FV. Cuanto más alta es la tasa de rendimiento, menores son las pérdidas entre los módulos y el punto en que el sistema alimenta a la Red. El intervalo previsto de tasas de rendimiento del sistema es del 70% al 85%, pero en los últimos años la tendencia ha sido hacia el límite superior de este intervalo. Esto significa que si se pudieran reducir más aún las pérdidas y los defectos de funcionamiento de los Sistemas FV, el coste por kWh podría también ser más bajo.

El **aumento del tiempo de vida del sistema** tendrá un efecto positivo en los costes de producción de Energía FV por kWh, ya que aumentará la generación de electricidad. Muchos productores ya ofrecen garantías de rendimiento de 25 años para los módulos. Por lo tanto, veinticinco años se puede considerar como el tiempo de vida mínimo del módulo. En el estudio 'EPIA Roadmap' se prevé una ampliación del tiempo de vida a 35 años en 2010.

Otro importante factor para la reducción del coste de la Energía FV son las **economías de escala**. Unos volúmenes de producción mayores permiten a la industria disminuir el coste por unidad producida. Las economías de escala se pueden aplicar a la adquisición de materias primas, comprando al por mayor, y a los procesos de producción, obteniendo unos índices de interés más favorables en la financiación y desarrollando un Marketing eficaz. Mientras que hace tan sólo una década las capacidades de las plantas de producción de células y módulos eran de unos pocos MWp, las primeras empresas del mercado tienen en la actualidad a su alcance plantas de 1 GWp de capacidad. Este aumento de la capacidad reducirá previsiblemente los costes por unidad aproximadamente en un 20% cada vez que se duplique la producción de energía.

Planta FV en Pellworm



### Ganadores y perdedores

El rápido aumento del precio del crudo en los últimos años, así como su repercusión en los costes de la energía convencional en los sectores doméstico e industrial en el mundo, han puesto de relieve una vez más la necesidad urgente, tanto para las economías industrializadas como para las menos desarrolladas, de reequilibrar su combinación energética. Este aumento del precio del petróleo no es sólo el resultado de la preocupación por la seguridad del suministro, sino que también refleja el rápido aumento de la demanda de energía en las economías emergentes de Asia, especialmente en China. La producción de petróleo ya no puede expandirse lo suficientemente rápido para mantenerse al nivel de la demanda. Esto conllevará un aumento de los precios del petróleo –y en consecuencia de la energía en general–, y las economías del mundo tendrán que adaptarse para hacer frente a este reto.

En este contexto de precios de la energía desenfrenados, las economías que se han comprometido a promover la adopción de la Electricidad Solar están comenzando a diferenciarse de los países que han confiado en gran medida, o casi exclusivamente, en las fuentes de energía convencionales. Hay señales claras de que en la próxima década veremos que muchos países tendrán que reducir rápidamente su dependencia del petróleo y el gas importados. Esta brusca transición la sufrirán con más crudeza aquellos que hayan prestado poca atención al papel que puede desempeñar la Electricidad Solar. No obstante, en el lado positivo, todavía tienen tiempo para ponerse a la altura si introducen rápidamente políticas innovadoras para promover el uso de la Electricidad Solar.

La velocidad a la que el sector de la Electricidad Solar aumenta su cuota de mercado en las economías que se han comprometido a fomentar esta fuente de energía limpia, unida a la transformación de sus clientes de receptores a productores de energía, representan una revolución comparable a la del mercado de las Telecomunicaciones en la década pasada. En estas revoluciones industriales hay siempre ganadores y perdedores.

Los ganadores indiscutibles en estas revoluciones industriales son los clientes, que tienen acceso a una oferta mayor. Otros ganadores son los actores del mercado que reconocen el potencial de este mercado en expansión y los que se han comprometido a invertir en el sector. Hay también muchos ejemplos de productos y servicios innovadores que ofrecen la posibilidad de elección a los clientes y que han sido popularmente aceptados, aún a precios considerablemente más altos que la oferta disponible previamente.

Dos ejemplos de la introducción en el mercado de este tipo de productos innovadores son los teléfonos móviles, que ofrecen un servicio a precios mucho más altos que las redes de telefonía fijas convencionales, y el agua mineral embotellada, un producto que en las gamas de precios media y alta cuesta más por litro que la gasolina. Con un producto adecuado –que ofrezca a los clientes el tipo de valor añadido que están buscando– y un Marketing innovador, las tecnologías como la Energía Solar deberían ser capaces de competir con la energía de suministro de Red convencional en los países industrializados.

No obstante, la ampliación de la oferta al cliente en el sector de la electricidad a través de la adopción de la Energía Solar necesita el compromiso de crear un marco apropiado que permita a los clientes acceder a la Energía Solar de forma eficiente y rentable.

*Línea de producción de células en Q-Cells*







Quinta parte:  
**Ventajas de la Energía Solar**

*Los Sistemas de Energía Fotovoltaica ofrecen muchas ventajas únicas que van más allá del simple suministro de energía. Por ello, las comparaciones con la generación de energía convencional –y de forma más precisa con los costes unitarios de la generación de energía convencional – no siempre son válidas. Si el valor del servicio que proporciona la Energía FV, u otras ventajas distintas de la energética, pudieran tasarse de forma aproximada, la economía general de la generación FV aumentaría drásticamente en numerosas aplicaciones, incluso en determinados sistemas conectados a la Red. La Energía FV ofrece también importantes ventajas sociales en los aspectos de creación de puestos de trabajo, independencia energética y desarrollo rural.*

### **Instalaciones que ahorran espacio**

La Energía FV es una tecnología sencilla, de bajo riesgo, que se puede instalar prácticamente en cualquier parte en la que haya luz. Esto significa que hay un gran potencial de uso en los tejados o en las fachadas de los edificios públicos, privados e industriales. Los módulos FV pueden usarse como parte de la envolvente de un edificio, proporcionando protección contra el viento y la lluvia o dando sombra en el interior. Durante el funcionamiento, estos sistemas pueden también contribuir a reducir la carga de la calefacción de los edificios o asistir a la ventilación por convección.

Otros lugares en los que se pueden instalar los Sistemas FV son las barreras de protección contra el ruido situadas en vías de comunicación, como las autopistas. Al satisfacer una parte significativa de las necesidades de electricidad del mundo industrializado, no será necesario explotar por otros métodos las zonas que se mantienen intactas.

### **Mejora de la Red Eléctrica**

Para las compañías energéticas y sus clientes, la Energía FV tiene la ventaja de proporcionar un despliegue rápido y modular. Esto puede compensar la inversión en nuevas plantas de grandes dimensiones y ayudar a reforzar la Red Eléctrica, en particular al final de la línea de distribución. Como la energía se genera en el punto de uso, estos generadores distribuidos pueden reducir las pérdidas de transmisión, mejorar la fiabilidad del servicio a los clientes y ayudar a limitar la demanda máxima.

### **Empleo**

La Energía FV ofrece importantes ventajas sociales en el aspecto de creación de puestos de trabajo. Es significativo que gran parte de la creación de empleo se produzca en el punto de instalación (instaladores, minoristas y técnicos de mantenimiento), impulsando las economías locales. Según la información proporcionada por la industria, la Energía Solar Fotovoltaica prevé la creación de 10 puestos de trabajo por MW durante la producción, y unos 33 puestos de trabajo por MW durante el proceso de instalación. La venta al por mayor de los sistemas y el suministro indirecto (por ejemplo, en el proceso de producción) crearán cada uno de 3 a 4 puestos de trabajo por MW. La investigación añade de 1 a 2 puestos de trabajo más por MW. Es de suponer que, en las próximas décadas, estos números disminuirán por el aumento del uso de máquinas automáticas. Éste será el caso particular de los puestos de trabajo ligados al proceso de producción.

UEA en Norwich



**Tabla 5.1: puestos de trabajo ligados a la Energía FV en el mundo según las hipótesis de Solar Generation**

Año	Instalación	Producción	Venta al por mayor	Investigación	Suministro	Total
<b>Hipótesis Avanzada</b>						
2006	48.017	14.375	4.312	1.869	5.390	73.963
2010	178.915	50.828	15.248	6.608	19.060	270.659
2015	530.620	139.821	41.946	18.177	52.433	782.997
2025	2.462.198	532.943	159.883	69.283	199.854	3.424.161
2030	4.716.534	893.283	267.985	116.127	334.981	6.328.909
<b>Hipótesis Moderada</b>						
2006	48.017	14.375	4.312	1.869	5.390	73.963
2010	132.718	37.704	11.311	4.902	14.139	200.774
2015	387.526	102.115	30.634	13.275	38.293	571.843
2020	811.805	195.683	58.705	25.439	73.381	1.165.012
2025	1.439.671	311.617	93.485	40.510	116.856	2.002.140
2030	2.208.195	418.219	125.466	54.368	156.832	2.963.080
<b>Hipótesis de Referencia de la AIE</b>						
2006*	48.017	14.375	4.312	1.869	5.390	73.963
2010	44.407	12.616	3.785	1.640	4.731	67.179
2015	52.713	13.890	4.167	1.806	5.209	77.784
2020	88.545	21.344	6.403	2.775	8.004	127.071
2025	137.988	29.867	8.960	3.883	11.200	191.898
2030	213.791	40.491	12.147	5.264	15.184	286.877

\*Para 2006 se han usado los datos de la EPIA. Para los años siguientes, las cifras están basadas en la extrapolación de los datos de la AIE.

En el año 2006, sólo la Industria FV alemana dio trabajo a 35.000 personas. Este impacto en el mercado de trabajo nacional sería impresionante para cualquier fuente de energía; de hecho, en Alemania hay actualmente más puestos de trabajo en el sector de la Energía FV que en la industria nuclear.

Según la hipótesis Avanzada de Solar Generation, se estima que en 2030 se habrían creado 6,3 millones de puestos de trabajo a tiempo completo mediante el desarrollo de la Energía Solar en el mundo. Más de la mitad de estos empleos estarían encuadrados en la instalación y comercialización de sistemas.

Oficina de Turismo en Alès, Francia



**La Alliance for Rural Electrification (ARE)** es una organización internacional con fines no lucrativos fundada en 2006 por las principales asociaciones de la Industria de la Energía Renovable: *la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA)*, *la Asociación Europea de Pequeña Hidráulica (ESHA)*, *la Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA)*, *la Asociación Europea de la Industria de la Biomasa (EUBIA)* y *el Consejo Mundial de la Energía Eólica (GW EC)*.

La ARE se creó como respuesta a la necesidad de acceder a una electricidad sostenible en los países en vías de desarrollo, y para facilitar la implicación de sus miembros en los mercados energéticos rurales emergentes. La fuerza de la ARE reside en su sólido enfoque basado en la industria, unido a la capacidad de combinar diferentes fuentes de Ener-

gía Renovables para proporcionar soluciones de Electrificación Rural más eficientes y fiables. Entre las **actividades** de la ARE se incluyen: facilitar a sus miembros información actualizada sobre programas de financiación de proyectos, convergencia con colaboradores o nuevos instrumentos financieros; establecer los **enlaces y colaboraciones** necesarios con las instituciones de la UE, las organizaciones internacionales y los institutos financieros para **crear, fomentar y reforzar** políticas y mercados favorables al uso de Energías Renovables en zonas rurales; y **desarrollar las herramientas y materiales de comunicación apropiados** para difundir sus mensajes. La ARE apoya también la **puesta en marcha de proyectos basados en acciones social y medioambientalmente responsables** relativos a la electrificación de zonas rurales con Energías Renovables.

### Electrificación Rural

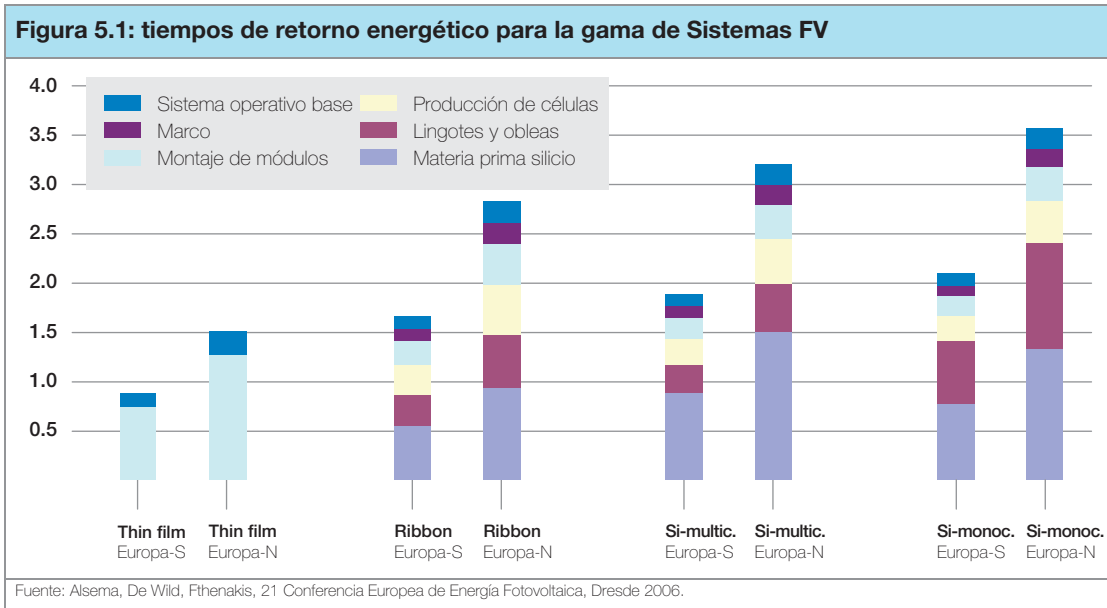
La Energía Solar se puede instalar fácilmente en zonas rurales y remotas, en lugares en los que no está previsto llevar la Red Eléctrica hasta dentro de muchos años. Las fuentes de Energía Renovables, como la FV, son actualmente una de las pocas opciones adecuadas para suministrar electricidad en zonas de comunidades dispersas, o que se encuentran muy alejadas de la Red. La Electrificación Rural aislada (sin Conexión a Red), basada en la instalación de sistemas independientes en viviendas rurales o minirredes –en las que

se puede combinar la Energía FV con otras tecnologías de Energía Renovable, o con GLP/gasóleo–, posibilita la prestación de servicios esenciales como iluminación, refrigeración, educación, comunicación y salud. Esto aumenta la productividad económica y crea nuevas oportunidades de obtención de ingresos. Además, las tecnologías que se usan para alimentar las aplicaciones no conectadas a la Red (Sistemas FV independientes, Sistemas FV de Bombeo de agua y Sistemas Híbridos) suelen ser, a la vez, económicas y respetuosas con el Medioambiente. Gracias a su solidez, facilidad de instalación y flexibilidad, los Sistemas FV se pueden adaptar a casi todas las demandas rurales de energía en cualquier parte del mundo.

Sistema FV en una escuela de Camboya



La demanda de carga prevista de los pequeños Sistemas FV se suele enfocar al servicio doméstico (iluminación, TV/radio, pequeños electrodomésticos) y a las necesidades sociales (centros sanitarios y comunitarios, escuelas, extracción y suministro de agua), aportando a la vez calidad de vida y mejoras económicas. En sistemas más grandes o híbridos, el suministro de energía se puede extender a la cobertura de las cargas de las horas de trabajo y de producción. Esto puede variar en un intervalo que va de las aplicaciones menores, como ventiladores, refrigeradores y herramientas eléctricas de mano, a demandas mayores, como la electrificación de escuelas, hospitales, tiendas y granjas.



Durante 2005 se instalaron un total de 86 MWp de Energía Solar FV en zonas rurales de países en vías de desarrollo, que dio acceso a la electricidad a unas 800.000 familias.

### Retorno energético

Todavía perdura la creencia popular de que los Sistemas FV no pueden ‘amortizar’ la inversión en energía dentro del tiempo de vida de un generador solar –unos 25 años–. Esto se debe a que el gasto de energía, especialmente durante la producción de células solares, se considera superior al de la energía que se puede generar.

Sin embargo, datos obtenidos en estudios recientes muestran que los sistemas actuales ya tienen un tiempo de retorno energético (TRE) –el tiempo que tarda la generación de energía en compensar la energía que se usó para producir el sistema– de 1 a 3,5 años, lo que está muy por debajo de su tiempo de vida previsto. Aumentando la eficacia de las células y reduciendo su espesor, así como optimizando los procedimientos de producción, se anticipa que el TRE de la Energía FV conectada a la Red disminuirá aún más.

La *Figura 5.1* muestra los tiempos de retorno energético de las distintas tecnologías de células solares (thin film, ribbon, multicristalina y monocristalina) en distintas zonas (Europa Meridional y Europa Septentrional). La energía consumida por un Sistema FV se compone de una serie de elementos, entre los que se incluyen el bastidor, el montaje de los módulos, la producción de células, lingotes y obleas, y la materia prima silicio. El tiempo de retorno energético de los sistemas de thin film ya es inferior a un año en Europa Meridional. En cambio, los Sistemas FV con módulos monocristalinos en Europa Septentrional retomarán la energía consumida en 3,5 años.

Sede Social de  
La Dentellière



### Protección climática

La característica más importante de los Sistemas Solares FV es que no producen emisiones de dióxido de carbono –el gas principal responsable del cambio climático mundial– durante el funcionamiento. A pesar de que se producen emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> en otras etapas del ciclo de vida, éstas son significativamente más pequeñas que las emisiones que se evitan.

La Energía Solar FV no conlleva ningún otro tipo de emisiones contaminantes ni ningún tipo de amenazas a la seguridad medioambiental asociadas a las tecnologías convencionales. No hay contaminación en forma de humos de escape o ruidos. El desmantelamiento de los sistemas no es problemático.

Aunque no hay emisiones de CO<sub>2</sub> durante el funcionamiento, sí se genera una pequeña cantidad durante la fase de producción. La Energía FV sólo emite de 21 a 65 gramos de CO<sub>2</sub> por kWh, aunque esto depende de la tecnología empleada. En cambio, el promedio de emisiones de las centrales térmicas en Europa es de 900 g de CO<sub>2</sub> por kWh. Sustituyendo las centrales térmicas por Energía FV se consigue una reducción de 835 g a 879 g por kWh.

La ventaja que se obtenga de la reducción del dióxido de carbono en la combinación energética de un país dependerá de qué otro método de generación o uso de energía se sustituye por la Energía Solar. Si se sustituyen generadores diésel por sistemas no conectados a la Red, se conseguirá una reducción de la emi-

sión de CO<sub>2</sub> aproximada de 1 Kg por kilovatio hora. Por su tremenda ineficiencia, la sustitución de una lámpara de queroseno conseguirá reducciones aún mayores, de hasta 350 Kg al año de un módulo simple de 40 Wp, equivalente a 25 Kg CO<sub>2</sub> /kWh. En cambio, en las aplicaciones de consumo y los mercados industriales distantes es muy difícil identificar la reducción exacta de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora. Así pues, en todo el período de la hipótesis se ha calculado que se reduciría una media de 600 g de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora producido por un generador solar. Este enfoque es más bien conservador y es probable que pudieran conseguirse mayores reducciones de CO<sub>2</sub>.

Los módulos FV son reciclables y las materias primas se pueden volver a utilizar. En consecuencia, se reduciría más aún el consumo de energía asociado a la Tecnología FV.

Si los gobiernos adoptan un mayor uso de la Tecnología FV en su generación nacional de energía, la Energía Solar puede realizar una contribución sustancial a los compromisos internacionales para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y su influencia en el cambio climático.

Según la hipótesis Avanzada de Solar Generation, en 2030 se habrían reducido las emisiones anuales mundiales de CO<sub>2</sub> en más de 1.000 millones de toneladas. Esta reducción equivale al total de emisiones de la India en el año 2004, o a la emisión de 300 plantas de combustión de carbón (de un tamaño medio de 750 MW). La reducción acumulativa de emisiones de CO<sub>2</sub> conseguida con la generación de Electricidad Solar entre 2005 y 2030 habrá alcanzado el nivel de 6.600 millones de toneladas.

El dióxido de carbono es responsable de más del 50% de los gases de efecto invernadero producidos por el hombre, lo que le convierte en el contribuyente más importante del cambio climático. Se genera principalmente por la quema de combustibles fósiles. El gas natural es el combustible fósil más respetuoso con el Medioambiente, ya que produce más o menos la mitad de dióxido de carbono que el carbón y menos gases contaminantes de otros tipos. La energía nuclear produce muy poco CO<sub>2</sub>, pero conlleva otros importantes problemas de protección, seguridad, proliferación y polución asociados a su explotación y sus residuos. Las consecuencias del cambio climático ya pueden percibirse en la actualidad (véase el apartado "Valoración científica del cambio climático").

Edificio HLM  
en Echirolles, Francia



**Tabla 5.2: reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en las hipótesis de Solar Generation**

	Hipótesis Avanzada		Hipótesis Moderada		Hipótesis de Referencia de la AIE	
	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> anual en millones de toneladas	Reducción acumulativa de emisiones de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> anual en millones de toneladas	Reducción acumulativa de emisiones de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> anual en millones de toneladas	Reducción acumulativa de emisiones de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas
2006	5	20	5	20	5*	20*
2007	6	26	6	26	3	24
2008	8	35	8	34	4	28
2009	11	46	10	44	5	33
2010	15	61	13	56	6	39
2011	20	80	16	72	7	46
2012	27	108	22	95	8	54
2013	35	143	29	123	10	64
2014	46	189	37	160	12	76
2015	59	248	46	206	14	91
2016	76	324	58	264	18	109
2017	101	424	76	339	20	129
2018	126	550	93	432	22	151
2019	156	706	112	544	25	176
2020	192	898	135	680	27	203
2021	234	1.132	162	841	30	233
2022	282	1.414	192	1.034	33	267
2023	338	1.753	227	1.261	37	304
2024	403	2.156	266	1.527	41	345
2025	478	2.634	310	1.838	46	391
2026	570	3.205	362	2.200	51	441
2027	672	3.876	417	2.617	56	497
2028	789	4.665	477	3.093	62	560
2029	924	5.589	543	3.636	69	629
2030	1.081	6.671	616	4.252	77	705

\*Para 2006 se han usado los datos de la EPIA. Para los años siguientes, las cifras están basadas en la extrapolación de los datos de la AIE.

*Producción de células en Q-Cells*



### **Valoración científica del cambio climático**

En Febrero de 2007, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) emitió el primero de una serie de informes que componen su Cuarto Informe de Valoración. "Cambio Climático 2007: La Base de la Ciencia Física" evalúa el conocimiento científico actual de los agentes naturales y humanos responsables del cambio climático. También evalúa los cambios observados en el clima, la capacidad de la ciencia para atribuir los cambios a distintas causas y las previsiones de cambio climático futuro. Este informe expresa mucha mayor confianza que las valoraciones pasadas, donde se decía que la mayor parte del calentamiento observado en el medio siglo pasado ha sido provocada por las actividades del hombre (más del 90% de certidumbre). Concluye (a partir de observaciones del incremento de las temperaturas medias mundiales del aire y los océanos, la fusión generalizada de nieve y hielo, y el aumento de los niveles medios del mar en el mundo) que el calentamiento del sistema climático es inequívoco.

### **Entre las repercusiones observadas que se detallan en el informe se encuentran las siguientes:**

- ❖ Once de los últimos doce años se encuentran entre los años más calientes registrados.
- ❖ Se ha acelerado el aumento del nivel del mar en el mundo.
- ❖ Se ha reducido el nivel medio de los glaciares de montaña y la capa de nieve en los Hemisferios Norte y Sur.
- ❖ Se han observado sequías más intensas y prolongadas en áreas más extensas desde los años 70, en especial en las zonas tropicales y subtropicales.

El cambio climático previsto para el final del siglo XXI dependerá del nivel de las emisiones futuras y el IPCC ha usado seis hipótesis de emisión para elaborar sus pronósticos. El informe concluye que si no se actúa para reducir las emisiones estabilizándolas en los niveles del año 2000, habrá el doble de calentamiento en las dos próximas décadas.

### **Entre las previsiones que se incluyen en el informe tenemos:**

- ❖ El intervalo de aumento de temperatura previsto para este siglo va de 1,1 °C a 6,4 °C.
- ❖ El intervalo mejor calculado, que refleja el punto central de las hipótesis de emisión más baja y más alta, es de un aumento entre 1,8 °C a 4,0 °C.
- ❖ Es probable que en el futuro se intensifiquen los ciclones tropicales (tifones y huracanes), con velocidades máximas del viento más altas y precipitaciones más fuertes, por efecto del calentamiento de los mares tropicales.

- ❖ Hay una probabilidad superior al 90% de que aumente la frecuencia de casos de calor extremo, olas de calor más prolongadas y precipitaciones más fuertes.

### **Algunas de las conclusiones clave del informe son:**

- ❖ Es probable que el cambio climático provoque la extinción masiva de especies dentro de 60 ó 70 años. Ya hemos asistido a la extinción asociada al clima de algunas especies de ranas, pero esto no es más que la punta del iceberg. La escala de riesgo es más grande que la mayoría de los cinco principales sucesos de extinción que se han producido en la historia de la tierra.
- ❖ En las próximas décadas, es probable que el número de personas en peligro de escasez de agua aumente de decenas de millones a miles de millones. Se prevé una reducción constante de la disponibilidad de agua en la India y en otras partes del Sur de Asia y de África. Aunque el impacto más fuerte lo sufrirán las zonas más pobres del mundo, países ricos como Australia y las naciones del Sur de Europa se encuentran también en primera línea.
- ❖ Se prevén reducciones de la capacidad de producción de alimentos en las zonas más pobres del mundo, lo que causará más hambre y miseria y socavará la consecución de las metas de desarrollo del futuro. Dentro de unas pocas décadas es probable que asistamos a descensos de la producción de trigo, maíz y arroz en India y China por efecto del cambio climático.
- ❖ En las próximas décadas es posible que la sequía y escasez de agua provoquen problemas de hambre y deslocalización humana en África.
- ❖ La pérdida de glaciares en Asia, Latinoamérica y Europa causará serios problemas de suministro de agua a grandes fracciones de la población mundial, así como un aumento masivo de inundaciones repentinas en los lagos glaciares y otros riesgos para los habitantes de las montañas glaciares.
- ❖ Un gran número de personas estará en peligro por el aumento del nivel del mar, la fuerza de las tormentas y las inundaciones de los ríos en los grandes deltas de Asia, como los de Ganges-Brahmaputra (Bangladesh) y Zhujiang (China).
- ❖ Un calentamiento de un grado más podría someter al mundo a un aumento del nivel del mar de varios metros durante algunos siglos por la pérdida, total o parcial, de las plataformas de hielo de Groenlandia y el Antártico Occidental. Ello provocaría una gran alteración de las costas.



**El Protocolo de Kioto**

El Protocolo de Kioto especifica objetivos y programas de obligado cumplimiento legal para conseguir una disminución de los gases de efecto invernadero por los países desarrollados mediante la reducción de hasta un 5% de las emisiones en el período de 2008-2012 en relación con los niveles de 1990. El Protocolo fue suscrito inicialmente por 84 países y, desde entonces, lo han ratificado o han accedido a él 166. Para poder entrar en vigor, el Protocolo requiere la ratificación de al menos 55 países, responsables del 55% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los países (industrializados) que se citan en el Anexo B. Después de pasar la prueba de cifras en 2002, el Protocolo de Kioto salvó finalmente el segundo obstáculo cuando la Federación Rusa depositó su instrumento de ratificación con Naciones Unidas en Noviembre de 2004. El Protocolo entró en vigor y adquirió la condición de obligado cumplimiento legal el 16 de Febrero de 2005.

El gobierno de Estados Unidos se retiró del proceso de Kioto y no muestra intenciones de volver a entrar, al menos mientras se mantenga en el poder la Administración Bush. El otro único país del Anexo B que ha anunciado que no ratificará el Protocolo de Kioto es Australia.

Los signatarios del Protocolo de Kioto deberán ahora afrontar con seriedad el cumplimiento de sus objetivos, tanto en las medidas de reducción de las emisiones domésticas como en el uso de los diferentes mecanismos comerciales diseñados en el Protocolo. Ya se han emprendido preparativos formales para la creación de un comercio de emisiones del mercado 'global' de carbón para 2008, y el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (SECE) ya está establecido y funcionando. Los de-

nominados 'mecanismos de flexibilidad' (el Mecanismo de Desarrollo Limpio [MDL] y la Aplicación Conjunta [AC]) también están en marcha, y se están desarrollando y aprobando proyectos a un ritmo creciente constante.

**El Mecanismo de Desarrollo Limpio** permite a los países industrializados invertir en proyectos destinados a países en vías de desarrollo que contribuyan a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en esos países. Un ejemplo sería la financiación por parte de Canadá de un proyecto de eficiencia energética en China, o la financiación por parte de Japón de un proyecto de Energía Renovable en Marruecos. Estos proyectos deberán contar con la aprobación del Consejo Ejecutivo del MDL, y deberán también generar unas reducciones de las emisiones que se puedan medir con respecto a una línea base comercial normal. También tendrán que cumplir una condición de 'adicionalidad' –deberá estar claro que los proyectos no habrían surgido sin esa iniciativa–. Además, deberán estar diseñados para contribuir al desarrollo sostenible en los países en vías de desarrollo colaboradores.

**La Aplicación Conjunta** permite a los países industrializados que se hayan marcado objetivos de reducción de emisiones cooperar para conseguirlos. Por ejemplo, las reducciones de emisiones generadas por proyectos de eficiencia energética en Rusia financiados por Alemania, o por proyectos de Energía Renovable en Hungría financiados por Noruega, podrán ser asignadas a los países que las financian. En teoría, es una vía económicamente más eficiente para que los países industrializados generen las mismas reducciones de emisiones generales.

**Seguridad del suministro**

La hipótesis Avanzada de EPIA/Greenpeace muestra que en 2030 los Sistemas FV podrían generar aproximadamente 1.800 TWh de electricidad en todo el mundo. Esto significa que se produciría en el mundo suficiente Energía Solar para suministrar más de la mitad de las necesidades de electricidad actuales de la UE, o para reemplazar 300 centrales térmicas de carbón (de un tamaño medio de 750 MW).

La capacidad instalada global de los Sistemas de Energía Solar podría llegar a los 1.300 GWp en 2030. Alrededor de dos tercios de esta capacidad estaría en el mercado conectado a la Red, principalmente en países industrializados. Suponiendo que el consumo

medio por hogar de 2,5 miembros fuera de 3.800 kWh, el número total de personas que generarían entonces su electricidad a partir de un Sistema Solar conectado a la Red llegaría a los 776.000 millones.

Aunque los mercados clave se encuentran situados en la actualidad principalmente en el mundo industrializado, un cambio global haría que los países en vías de desarrollo actuales adquirieran una cuota significativa en 2030. Como los sistemas tienen un tamaño mucho más pequeño que los sistemas conectados a la Red y la densidad de población es mayor, esto significa que en esa época usarían Electricidad Solar hasta 2.900 millones de personas en los países en vías de desarrollo. Esto representaría un adelanto importantísimo para la tecnología con respecto a su estado emergente actual.



**Sexta parte:**  
**Medidas impulsoras**

### **El sistema de primas: impulsor de la historia de éxito de la Energía Solar en Europa**

Es evidente que, sin el apoyo de los instrumentos adecuados, la expansión del mercado de la Electricidad Solar en el mundo no se producirá a la velocidad suficiente. Para acelerar la reconstrucción de nuestro sistema de suministro eléctrico es necesario implementar herramientas potentes y eficaces que apoyen el uso de la Energía Solar. Durante muchos años, el sistema de primas ha demostrado su poder y eficacia en el desarrollo de nuevos mercados.

En todo el mundo, la gente se sorprende de que Alemania, un país que no es uno de los lugares más soleados del mundo, haya desarrollado el mercado de Electricidad Solar más dinámico y una Industria FV floreciente. ¿Cómo ha sido esto posible? En el pasado se probaron diversos tipos de programas en muchos países para acelerar el mercado FV, pero ninguno tuvo tanto éxito en un plazo de tiempo tan corto como el sistema de primas de Alemania. La idea se adaptó para aplicarla en otros estados europeos, ajustando cada país el sistema de acuerdo con sus necesidades específicas. La extensión de estos mecanismos de primas más allá de Alemania es una de las piedras angulares en la estrategia de la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica para promover la adopción de la Electricidad Solar en Europa. La simplicidad del concepto y sus bajos costes administrativos hacen que sea una herramienta muy eficaz para impulsar la contribución de la Electricidad Solar en las combinaciones energéticas nacionales.

La idea básica del sistema de primas es muy simple. Los productores de Electricidad Solar:

- ❖ Tienen derecho a suministrar Electricidad Solar a la Red pública.
- ❖ Reciben una prima por kWh generado que refleja las ventajas de la Electricidad Solar en comparación con la electricidad generada mediante combustibles fósiles o energía nuclear.
- ❖ Reciben la prima durante un período de tiempo fijo.

Los tres aspectos son sencillos, pero establecerlos supuso un esfuerzo considerable. Durante muchos años, el sistema eléctrico no permitió la introducción de la Electricidad Solar en sus redes y esto todavía sigue sucediendo actualmente en muchos países. Por lo tanto, este derecho no se puede considerar garantizado, y será necesario luchar por él a la hora de hacer frente a la probable oposición continua de las compañías eléctricas.

### **Sistema de primas: una medida temporal para desarrollar el mercado**

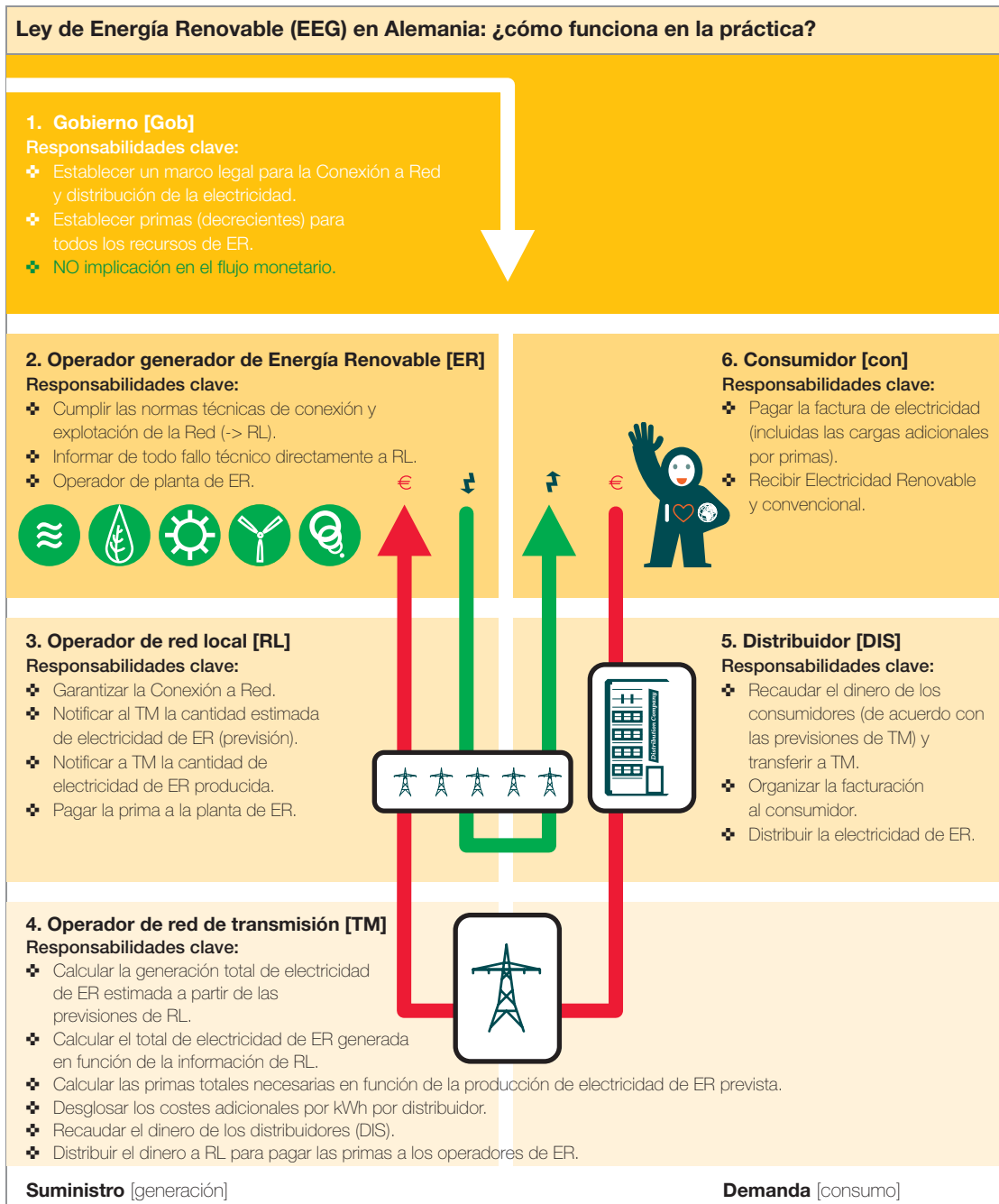
Como ya se ha explicado en el capítulo de costes, el sistema de primas es una medida temporal para desarrollar la competitividad que dará como resultado las economías de escala. La competitividad con las fuentes de electricidad convencionales se alcanzará en distintas épocas en las diversas regiones. Por ello, los sistemas de primas deberán adaptarse a las condiciones nacionales. No obstante, es importante que las tarifas se paguen durante un período aproximado de 20 años a partir del día en que se conecta el sistema a la Red, ya que los costes irán ligados a la inversión inicial. En algunos años, los costes de inversión serán lo suficientemente bajos como para poder afrontarlos sin utilizar el apoyo de las primas.

### **¿Quién paga las primas?**

En el pasado, para fomentar la Electricidad Solar, muchos programas estaban financiados por los presupuestos del gobierno. La desventaja de este método fue que si se acababa o se restringía el dinero del estado, el programa podía pararse. Así pues, algunos modelos de primas adoptaron un enfoque completamente distinto. En el año 2007, en Alemania, las compañías eléctricas pagaban una prima de entre 0,38 €/kWh y 0,54 €/kWh (dependiendo del tamaño y el tipo de sistema) por la Electricidad Solar de los Sistemas FV de nueva instalación. Las compañías eléctricas estaban autorizadas a repercutir este coste adicional, distribuido equitativamente, a todos los consumidores en su factura de electricidad normal. Esto significa que el programa de primas funciona al margen de la economía del estado, y el coste adicional que tiene que pagar cada consumidor de electricidad para aumentar la cuota de Energía Renovable en la cartera eléctrica nacional es muy pequeño. En Alemania, el coste adicional mensual por consumidor asociado a la prima por Electricidad Solar es actualmente de 0,20 €. Esto hace también que cada consumidor de electricidad contribuya a la reestructuración de la Red de suministro eléctrico nacional, alejándose de la base de combustibles fósiles y evolucionando hacia una estructura sostenible e independiente.

### **Sistema de primas: el impulsor de la reducción de costes**

Los costes de la Electricidad Solar se han reducido sistemáticamente desde la introducción de la tecnología en el mercado. Aun así, en muchos casos, la Electricidad Solar no puede todavía competir con la electricidad de Red generada a partir de combustibles fósiles. Aunque se espera que sigan subiendo los precios de la electricidad generada a partir de combustibles fósiles, todavía sigue siendo importante mantener el impulso para que descendan los costes de la Electricidad Solar.



Por este motivo, las primas se reducen cada año en Alemania en un 5%, pero sólo para los sistemas de nueva instalación. Una vez que un Sistema FV está conectado a la Red, la prima permanece constante durante todo el periodo de 20 años. Debido a esta reducción anual del 5% hay una presión constante en la Industria FV para reducir los costes de la electricidad en un 5% anual, con el fin de mantener el mercado activo. Al mismo tiempo, el consumidor puede calcular fácilmente la amortización de la inversión de su Sistema FV. Esta seguridad de planificación es un elemento esencial en la historia de éxito del sistema de primas.

**Sistema de primas: el impulsor de los Sistemas de Electricidad Solar de alta calidad**

Muchos programas de apoyo a la Electricidad Solar se basan en un subsidio de inversión para reducir la barrera de los elevados costes de capital iniciales. El inconveniente de este enfoque es la falta de incentivos para invertir en sistemas de electricidad de alta calidad y garantizar su explotación y mantenimiento eficientes. Si el cliente recibe un pago fijo por unidad de capacidad instalada, no se incentiva la búsqueda de productos de alta calidad, que normalmente conllevan un precio más elevado, ni la explotación del sistema al más alto nivel posible. Con el sistema de primas, la

recuperación de la inversión depende en gran medida del rendimiento del Sistema FV. El cliente recupera la inversión con cada kWh que suministra a la Red. Por ello, maximizar la producción energética del Sistema FV a lo largo de todo su tiempo de vida es esencial para el cliente, y garantiza la explotación y el mantenimiento correctos del Sistema FV. El sistema de primas es el único que recompensa la generación de Electricidad Solar de forma apropiada y no simplemente por instalar el sistema.

### **Sistema de primas: el impulsor de la financiación más fácil**

Los costes iniciales de los Sistemas de Electricidad Solar son una barrera clara para la penetración más profunda en el mercado. Como ya se ha explicado anteriormente, se han establecido subsidios de inversión en muchos países para superar esta barrera, pero este enfoque tiene unas desventajas significativas. Una prima garantizada por ley durante un período de tiempo suficiente representa una excelente seguridad para el banco del cliente a la hora de financiar el sistema. El propio Sistema FV, combinado con la garantía de 20 años de la prima, es por regla general suficiente para recibir un préstamo del banco. Por supuesto, fue necesario un cierto tiempo para que los bancos se familiarizaran con los Sistemas FV y las implicaciones del sistema de primas pero, hoy en día, la financiación de Sistemas FV mediante un préstamo bancario ya no es una actividad inusual que requiere un tiempo prolongado, sino algo muy común y sencillo.

### **El sistema de primas requiere fuertes medidas de apoyo**

#### **Administración simple y rápida**

Hay países en Europa que disponen de un sistema de primas económicamente atractivo, pero carecen de un mercado FV viable. ¿Cómo ha sido esto posible? El sistema de primas requiere de una colaboración sólida para que se pueda explotar todo su potencial, es decir, necesita un proceso de aprobación simple y rápido. Aunque se haya establecido un sistema de primas excelente, si los procedimientos de aprobación de las Instalaciones FV y su Conexión a Red duran varios meses, quizá más de un año, el número de clientes potenciales seguirá siendo limitado. Por ello, es preciso mantener en un nivel mínimo el esfuerzo del consumidor para hacer frente a los trámites administrativos y de obtención de licencias. Un proceso administrativo y de obtención de licencias complejo es una muestra clara de que el mercado de la electricidad todavía no ha hecho progresos sustanciales hacia la liberalización.

### **Sistema de primas: aspectos fundamentales**

- ❖ Una herramienta eficaz que ya ha demostrado su validez.
- ❖ Un mecanismo temporal.
- ❖ No es una carga para el contribuyente.
- ❖ Impulsor de las reducciones de costes y las economías de escala.
- ❖ Garantiza Sistemas FV de alta calidad y buen rendimiento.
- ❖ Genera condiciones seguras para los inversores potenciales.

### **Importantes medidas de apoyo:**

- ❖ Eliminación de las barreras administrativas.
- ❖ Acceso a la Red garantizado.

### **Acceso a la Red garantizado**

Por sus importantes ventajas sociales y medioambientales, la Electricidad Solar deberá tener prioridad y acceso garantizado a la Red. En muchos países hay un gran exceso de capacidad de generación de electricidad convencional, con una gama de fuentes energéticas –de los combustibles sólidos a las Energías Renovables–, que se disputan el acceso a la Red. Los generadores de Electricidad Solar deberán tener garantizado el acceso automático, dado su elevado valor técnico y ecológico, que incluye el apoyo a la estabilidad de la Red local.

### **Compromiso del gobierno y la industria**

Los gobiernos que hayan apostado con fuerza por las tecnologías limpias, como la Energía Solar Fotovoltaica, para ampliar su base de suministro de energía podrán contarse también entre los ganadores. Esta diversificación no sólo aporta ventajas en el aspecto de mayor seguridad del suministro de energía, sino que también conlleva grandes beneficios medioambientales por la implantación de las tecnologías de emisiones cero que, según las previsiones expuestas en este documento, tendrán una repercusión significativa en las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> durante las próximas décadas.

En el presente, el compromiso con la Electricidad Solar de las distintas naciones del mundo industrializado difiere enormemente. Junto a países como Alemania, Japón y otros en Europa que han progresado de la discusión a la implantación de los esquemas de apoyo necesarios, hay otros que, de hecho, han recortado sus programas de Electricidad Solar.

En cualquier caso, tanto la industria como los gobiernos tendrán que ampliar sus compromisos respectivos con el Sector Solar si se desea explotar al máximo el potencial identificado en este informe. En el lado de la indus-

tría se requiere una inversión continua y acelerada en la expansión de las instalaciones de producción para satisfacer las demandas del mercado y garantizar un descenso del coste y, a la postre del precio, de la tecnología ampliando la producción e introduciendo nuevas técnicas de fabricación y materiales. En el lado del gobierno, se tendrá que ampliar el compromiso con el Sector de la Electricidad Solar en muchos países mediante acciones como la introducción de primas y la adaptación de las normas de edificación, con el fin de otorgar mayores incentivos a la instalación de Sistemas de Electricidad Solar en el entorno construido.

Como cualquier otra industria, el Sector de la Electricidad Solar sólo progresará si se garantiza una inversión suficiente para su expansión. En los seis últimos años, la Industria Solar ha conseguido con gran éxito atraer la atención del mundo financiero hacia este mercado joven y dinámico. Todavía es evidente el 'boom solar' en la comunidad inversora. Tanto la industria como los gobiernos han de conseguir que el mundo financiero no pierda su interés en las Energías Renovables, para asegurar la financiación necesaria que mantenga la tasa de expansión actual.

En resumen, no hay duda de que el negocio de la electricidad mundial experimentará una expansión significativa en las próximas décadas. Todos los indicios apuntan en esa dirección. La Energía Solar desempeñará ciertamente un papel aún más importante en el mix energético. Sin embargo, el grado de repercusión de la Electricidad Solar en este mercado dependerá, en gran medida, de garantizar que los ganadores potenciales de este negocio conozcan completamente las oportunidades disponibles.

Estas oportunidades sólo se materializarán si la industria y los gobiernos continúan reforzando su compromiso de ampliar la base de suministro energético y, a través del despliegue de Tecnologías de Electricidad Solar, ofreciendo más posibilidades de elección a sus clientes. Ello conllevará el beneficio añadido de desmitificar el proceso energético y ofrecer a los individuos un mayor control de la provisión de sus necesidades de electricidad. Esto constituye de por sí una revolución en el mercado de la energía.

### **Política internacional sobre la Energía Solar FV**

#### **Política actual de la Unión Europea**

La medida europea más importante de apoyo a la Energía FV es la Directiva 2001/77/CE sobre la promoción de la electricidad producida a partir de fuentes de Energías Renovables, conocida como la Directiva de Electricidad Renovable. Esta Directiva establece el objetivo de

duplicar la cuota de Energía Renovable del 6% al 12% del consumo energético bruto en Europa en 2010, y aumentar la proporción de Electricidad Renovable hasta el 22%.

Para alcanzar estas metas, la Directiva ha marcado objetivos indicativos a cada estado miembro de la UE, pidiéndoles que produzcan planes de acción nacional y que fijen sus propios objetivos de Electricidad Renovable. Además, se les ha solicitado que **eliminen las barreras administrativas** relativas a los procedimientos de autorización, con el fin de **asegurar un acceso ecuánime** de la Electricidad Renovable a la Red y proporcionar **garantías de sus orígenes**.

#### **Legislación propuesta sobre Energía Renovable**

En Enero de 2007, la Comisión Europea emitió un comunicado sobre un Plan de Acción de Energía Renovable como parte de un paquete energético completo. El fin de este comunicado es promocionar más aún el desarrollo de las fuentes de Energía Renovables en Europa, marcando un objetivo de cuota del 20% de Energías Renovables en el mix energético de la UE para el año 2020. La legislación propuesta fijará objetivos de obligado cumplimiento legal sobre Energía Renovable en cada uno de los estados miembros, que estarán obligados a establecer planes de acción nacionales en los que se definan sus propios objetivos específicos para cada sector de la Energía Renovable (combustible, electricidad y calefacción/refrigeración).

Todavía no se han acordado todos los detalles de la Directiva propuesta, en particular si se requerirá a los estados miembros que establezcan objetivos por sectores para electricidad, calefacción/refrigeración y bio-combustibles. Esto sería particularmente importante para la promoción de las fuentes de Energía Renovables, ya que crearía un marco seguro y estable para la inversión. De todas formas, se espera que la nueva Directiva mejore las disposiciones de la Directiva de Electricidad Renovable, no que las debilite.

En la Unión Europea prosigue el debate acerca de la posible armonización de los esquemas de apoyo a la Energía Renovable. La EPIA cree que esta armonización obstaculizaría más que facilitaría el desarrollo de las fuentes de Energía Renovables.

Finalmente, la Energía FV podría verse positivamente afectada por la próxima legislación (anunciada en el *Comunicado de Previsiones del mercado interno de gas y electricidad* COM [2006] 841) sobre liberalización del mercado de electricidad interno. Unas medidas más efectivas para 'desligar' la propiedad de los sistemas de

distribución y transmisión de las grandes compañías energéticas abriría nuevas oportunidades de mercado para la Industria FV.

### Política actual en Estados Unidos

#### Producción de Energía Solar

En los dos últimos años, las fábricas de producción de Energía FV se han diversificado y extendido mucho, lo que ha reducido el impacto negativo de la escasez de silicio. El mejor ejemplo de esta diversificación es la expansión de las células solares de thin film. EE. UU. lidera la fabricación de thin film en el mundo, con casi la mitad del total producido. El capital de riesgo también está inundando la Industria Solar, en especial los sectores de tercera generación y nanotecnologías.

#### Crédito fiscal federal

En el Congreso hay un fuerte apoyo a la ampliación a largo plazo del Crédito Fiscal Solar, que se introdujo por primera vez en el año 2005. El crédito ofrece un incentivo fiscal a los inversores de Sistemas FV, igual que el crédito que ha fomentado la industria de Energía Eólica en EE. UU. Si fuera aprobada por la Cámara y el Senado, esta ley ampliaría el crédito fiscal durante ocho años y eliminaría el tope (límite superior) para los edificios residenciales. Hay grandes posibilidades de que se amplíe próximamente el crédito fiscal.

#### Iniciativa 'América Solar' del Presidente

El Departamento de Energía ha proporcionado detalles sobre la "Iniciativa 'América Solar' del Presidente", que propone un gran aumento de la financiación para investigación en Energía Solar. La meta de esta iniciativa es lograr que la Energía Solar sea competitiva con las fuentes de electricidad existentes en el año 2015. El programa también pretende conseguir para esa misma fecha un aumento de 5 GWp a 10 GWp de capacidad, lo que está en línea con el proyecto de crecimiento proyectado por la industria y promovido por iniciativas estatales. En 2030 podrían haberse instalado de 70 GWp a 100 GWp de capacidad, que es aproximadamente lo mismo que la capacidad de generación de electricidad conjunta de Nueva York y California en la actualidad. El 40% de la nueva capacidad de generación de energía sería FV en 2030.

Como resultado de la iniciativa y de la popularidad de la Energía Solar en el Congreso, el presupuesto federal para investigación y desarrollo de dicha energía ha crecido significativamente en los dos últimos años. La iniciativa potenciará la creación de colaboraciones financieras lideradas por la industria para acelerar los productos fotovoltaicos listos para la venta, con un nuevo enfoque en la fabricación y la producción.

#### Políticas estatales

En los dos últimos años, algunos estados han promulgado leyes para fomentar la adopción de la Energía Solar a gran escala. Encabezados por California, Nueva Jersey, Arizona, Pensilvania y ahora Maryland, los estados ya se han comprometido a financiar la instalación de más de 10 GWp de Electricidad Solar durante los próximos 15 años. Estos programas repartirán miles de millones de dólares en subsidios a proyectos solares residenciales y comerciales, y representan unos incentivos significativos a largo plazo para la Industria Solar en Estados Unidos.

En San Francisco (California), las autoridades locales han decidido recientemente establecer su propia compañía de suministro energético, Community Choice Energy. La ciudad tiene previsto crear una de las Instalaciones Solares más grandes del mundo e instalar un total de 360 MW de Energía Renovable, suficiente para cubrir más de la mitad de las necesidades energéticas de las áreas urbanas en 2017.

Resumen de las metas de State Solar (MWp)	
Estado	Compromiso para 2020
Arizona	2.000
California	3.000
Connecticut	15
Colorado	200
Delaware	175
Distrito de Columbia	30
Hawaái	15
Maryland	1.400
Nevada	500
Nueva Hampshire	34
Nueva Jersey	1.500
Nueva York	25
Carolina del Norte	240
Pensilvania	860
Texas (Austin)	100
Otros estados	300
<b>Total</b>	<b>10.394</b>

### Política actual en Japón

La promoción de la Energía Solar FV en Japón ha pasado por una serie de medidas legales, estrategias nacionales y marcos instituidos por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (MECI), así como por otros ministerios y agencias gubernamentales. El objetivo de Japón respecto a la capacidad acumulada de los Sistemas FV que se prevé instalar hasta 2010 es de 4.280 MW. El MECI ha impulsado activamente medidas para el desarrollo de la Energía FV y programas de I+D+i para conseguir este objetivo.

La Nueva Ley de Energía de 1997 definió la responsabilidad de cada sector –gobierno nacional y gobiernos locales, consumidores de energía, suministradores de energía y fabricantes de sistemas de energía– para introducir y fomentar fuentes de energía nuevas y Renovables. En la Ley de Normas de la Cartera de Energías



Renovables (NCEP) de 2002 se obliga a los suministradores de energía a comprar cada año un porcentaje creciente de Energía Renovable. Además, el gobierno japonés introdujo en 2003 un Plan Básico de Energía para apoyar estas políticas.

En 2004 se emitieron tres previsiones de suministro de energía en Japón hasta el año 2030, incluido un plan de acción FV (FV2030). El plan diseñaba el desarrollo tecnológico de los Sistemas FV requerido para conseguir una difusión a gran escala y a largo plazo. En 2005, el gobierno suscribió el Plan de Consecución de Objetivos del Protocolo de Kioto, que de nuevo destacaba la implantación, a gran escala, de energías nuevas y Renovables como una de las medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero hasta 2010.

En 2006, el METI anunció la Nueva Estrategia Nacional de Energía en la que se establecía la promoción de los Sistemas FV como uno de los pilares principales. También se han introducido otras dos nuevas leyes de fomento de medidas para combatir el calentamiento global, y de fomento de las compras verdes para impulsar el uso de energía nueva y Renovable.

*(AIE-PVPS, Informe Anual 2006)*

### Política actual en China

El desarrollo más importante de la Energía Renovable en China, incluida la Energía Solar FV, fue la introducción de la Ley de Energía Renovable a principios de 2006. A continuación se citan algunas de sus disposiciones principales:

- ❖ Las compañías energéticas deberán suscribir acuerdos de Conexión a Red con empresas generadoras de Energía Renovable que hayan obtenido legalmente una licencia administrativa y comprar su producción.
- ❖ El precio de la electricidad de los proyectos de Energía Renovable está determinado por el Consejo de Estado según el principio siguiente: "beneficiar el desarrollo y uso de la Energía Renovable, siendo económico y razonable". Además, se podrá ajustar de acuerdo con el desarrollo futuro de la tecnología.
- ❖ El precio pagado por la Energía Renovable deberá reflejar la diferencia entre su coste actual y el de las fuentes de energía "convencionales".

- ❖ El gobierno apoyará la construcción de Sistemas de Energía Renovable independientes en zonas no cubiertas por la Red energética para dar servicio a las viviendas y las industrias locales.

La Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma (CNDR), responsable general de la política energética en China, emitió otro comunicado respecto al precio que habría que pagar por la Electricidad FV a través de la Ley de Energía Renovable. En él se determinaba que el nivel de precio establecido por el Consejo de Estado estaría basado en el principio de "costes razonables + beneficios razonables", y que todos los costes adicionales en que incurrieran los generadores de Energía FV, incluidas las cargas de explotación y mantenimiento y Conexión a Red, se compensarían mediante un recargo en la tarifa que se cobraría a los consumidores de electricidad. Tanto los Sistemas FV integrados en edificios como las Plantas de Energía FV a gran escala en zonas desérticas estarían sujetos a esta política de "primas".

En el caso de Plantas de Energía FV sin Conexión a Red instaladas en aldeas, la inversión inicial la pagaría el gobierno (sin incluir los sistemas domésticos), y la parte de los costes de explotación y mantenimiento que exceda los ingresos obtenidos por el suministro de electricidad (incluido el coste de renovación de las baterías de acumulación) se repartiría en toda la Red eléctrica nacional, incrementando la tarifa de electricidad.

No obstante, otro punto importante está en la legislación. Los usuarios finales (con o sin Conexión a Red) deberán pagar por su electricidad según el principio de "misma red, mismo precio", o lo que es lo mismo, la tarifa de electricidad pagada por los usuarios de Energía FV deberá ser la misma que la tarifa de electricidad pagada por los usuarios de energía con Conexión a Red de la misma zona.

### Problemas prácticos

#### **Sistemas conectados a la Red**

Muchos Sistemas de Energía FV con capacidad de Conexión a Red han sido construidos en China con unas capacidades que van desde algunos kWp hasta 1 MWp, pero en ningún caso se ha implantado un sistema de primas calculado por el principio de "costes razonables + beneficios razonables" y, hasta ahora, las compañías energéticas no han permitido a ningún sistema conectarse a la Red con fines comerciales. La situación de la Energía Eólica es muy distinta. Los promotores llevan muchos años construyendo parques eólicos rentables (sin necesidad de inversiones de capital del estado), y las compañías energéticas los han aceptado y han aplicado la política de primas correspondiente.

Para hacer que las compañías eléctricas acepten de forma inequívoca la producción FV y compren la energía pagando una prima serán necesarios los siguientes cambios:

- ❖ Se deberán establecer las cuantías de las primas (en las Plantas no conectadas a la Red se tendrán que calcular los costes razonables de explotación y mantenimiento).
- ❖ Se tendrán que fijar normas de construcción y comprobación, así como reglas de acceso al mercado.
- ❖ Las compañías eléctricas deberán aceptar la Energía FV y comprarla abonando primas de un importe razonable.
- ❖ El coste de generación adicional deberá distribuirse en la Red Eléctrica nacional.

### **Sistemas no conectados a la Red**

También se han producido problemas en los pagos con la Ley de Energía Renovable en más de 720 Plantas FV instaladas bajo el Programa de Electrificación de Municipios. Habrá que desarrollar urgentemente un mecanismo para incorporar la tarifa de la Electricidad Renovable a la Red Eléctrica nacional, de forma que los fondos acumulados se puedan usar posteriormente para explotación y mantenimiento de esas Plantas FV rurales. De lo contrario, se desaprovecharía la inversión de varios miles de millones de yuanes realizada. Si no se adoptan medidas, el Programa de Transmisión de Energía a las Aldeas, cuya implantación es inminente, se verá afectado por una crisis similar.

Lo que muestra la experiencia es que no es suficiente introducir una Ley de Energía Renovable sin considerar la aplicación de sus detalles, en particular el nivel correcto de las primas y la distribución de costes.



[www.epia.org](http://www.epia.org)

© Greenpeace/Martin Bond



**European Photovoltaic Industry Association  
Renewable Energy House**

Rue d'Arlon 63-65

1040 Bruselas - Bélgica

Tel.: +32 2 465 38 84 - Fax: +32 2 400 10 10

[pol@epia.org](mailto:pol@epia.org)

[www.epia.org](http://www.epia.org)

**GREENPEACE**

**Greenpeace International**

Otto Heldringstraat 5

1066 AZ Amsterdam

Países Bajos

Tel.: +31 20 718 2000 - Fax: +31 20 514 815

[sven.teske@int.greenpeace.org](mailto:sven.teske@int.greenpeace.org)

[www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)