

Una propuesta para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica



Aedenat

CC.OO.



junio 1995

UNA PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

INDICE

Introducción	
Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica	
Estado de la tecnología	
Paneles solares	
Acumuladores de energía	
Inversores	
Reguladores	
Cargas eléctricas.....	
Integración arquitectónica.....	
Centrales eléctricas fotovoltaicas	
Dimensionado	
Programas nacionales para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica	
Situación de la energía solar fotovoltaica en España y previsiones del PEN/PAEE	
Situación de la ESFV en las comunidades autónomas	
Costes de la energía eléctrica de origen fotovoltaico	
Evolución de los costes	
Distribución de costes por aplicaciones.....	
Energías no Renovables y energía Solar Fotovoltaica.	
Evaluación de externalidades	
Impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica	
Impacto medio ambiental de la producción de ESFV.....	
ESFV y Energía Convencional	
Propuesta para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica	
Actuación estatal	
Actuaciones Autonómicas.....	
Actuaciones Municipales.....	
Bibliografía	

Asociación Ecologista de Defensa de la Naturaleza (AEDENAT): C/ Campomanes, 13, 2º - 28013 MADRID - Telf. 541 10 71

Confederación Sindical de Comisiones Obreras (C.S. de CC.OO.): C/ Fernandez de la Hoz, 12 - 28010 MADRID - Telf. 319 17 50

Unión General de Trabajadores (U.G.T.): C/ Hortaleza, 88 - 28004 MADRID - Telf. 589 77 23

INTRODUCCION

LOS SISTEMAS para producción de electricidad denominados sistemas fotovoltaicos posibilitan la transformación de la energía que contiene la radiación solar en energía eléctrica. Estos sistemas se caracterizan por un grado de autonomía respecto al clima, lugar geográfico y otros condicionantes que pocas fuentes energéticas pueden alcanzar, siendo especialmente bajo su impacto medioambiental. Las localizaciones geográficas caracterizadas por recibir un alto nivel de radiación solar son las más propicias para su utilización. En estas condiciones, la Península Ibérica resulta un lugar idóneo para obtener energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos.

La energía solar fotovoltaica (ESFV), junto con otras Energías renovables (ER), representa la posibilidad de aumentar el grado de autoabastecimiento y equilibrar la balanza comercial en el campo de la energía. Así mismo, supone reducir los costes de distribución para las zonas más aisladas y la posibilidad de desarrollar un sector industrial que tiene unas amplias perspectivas de crecimiento y por tanto puede contribuir a reducir el paro en nuestro país.

La sensibilidad social con los problemas del medio ambiente y los tremendos impactos ambientales que sobre el entorno producen otras fuentes de energía (lluvias ácidas, efecto invernadero, residuos radioactivos, accidentes nucleares, etc.) son otro factor que propicia su uso.

Las exigencias institucionales en temas ambientales tienen claras repercusiones económicas. Por ejemplo, los acuerdos comunitarios de estabilizar las emisiones de CO₂, han tenido como consecuencia la propuesta de la comisión de establecer un impuesto que encarezca la energía en función de la cantidad de este compuesto que sea emitida al medio ambiente. Aunque de momento no ha sido aprobada, cabe suponer que los nuevos datos referentes al cambio climático hagan reconsiderar esta postura. Otro tanto ha ocurrido con la directiva comunitaria para reducir los contaminantes ácidos de las grandes instalaciones de generación de energía eléctrica, que implica un aumento del coste de la electricidad. Lo mismo podría decirse de la limitación cada vez más estricta de vertidos de sustancias radioactivas de las centrales nucleares, de los planes menos irresponsables de evacuación de la población en caso de accidente nuclear, de las obligaciones de restaurar los terrenos en la minería a cielo abierto, etc.

Frente a las energías convencionales, las energías renovables y en particular la Energía Solar Fotovoltaica (ESFV), presentan la característica de

ser una fuente ilimitada de energía (es decir, es renovable).

Se caracteriza además por su carácter ubicuo (aunque no con la misma intensidad en todos los lugares ni en todo momento), pudiendo ser aprovechada en cualquier parte de la superficie del planeta.

Esta ubicuidad posibilita un rango de aplicaciones extremadamente amplio, limitado apenas por la potencia necesaria. Esta versatilidad e independencia de la red eléctrica queda reflejada en el amplio rango de aplicaciones que puede cubrir la Energía Solar Fotovoltaica (ESFV).

El despegue de la ESFV como sustitutivo de las fuentes convencionales de energía depende, en la práctica, de la voluntad política de los estados y de un análisis, por parte de las compañías eléctricas, del carácter insostenible del modelo actual de abastecimiento energético. Sólo las energías renovables y en particular la ESFV, se presentan como la alternativa necesaria e indispensable a medio plazo frente a un modelo basado en fuentes energéticas agotables, extremadamente contaminantes y generadoras de desigualdad social y dependencia energética.

El continuo avance en la tecnología fotovoltaica, la reducción de sus costes y el análisis cuantitativo y cualitativo de los costes externos de la generación energética, acentúan el carácter absurdo de desperdiciar la ESFV (junto con otras energías renovables) como sustitutivo inmediato de las fuentes tradicionales de energía.

Si para entonces las energías renovables no han sustituido a las fuentes convencionales de energía, el carácter agotable de gran parte de los recursos en que se basa la generación de estas energías convencionales, obligará a recurrir a las energías renovables como las únicas fuentes de energía disponibles. Antes que esto ocurra ha de haberse desarrollado por completo la posibilidad de implementar a gran escala las energías renovables en la sociedad actual. Desde nuestra perspectiva esto es técnicamente posible en la actualidad, con sólo dedicar algún esfuerzo adicional en el desarrollo de tales tecnologías. Así pues, resulta ser una absurda paradoja seguir manteniendo un modelo que, además de saber que tiene sus días contados, genera graves problemas ecológicos, políticos, sociales y humanos.

En base a las consideraciones precedentes, el presente trabajo trata de analizar brevemente los aspectos más importantes de la Energía Solar Fotovoltaica.

Para ello, reseñamos las principales aplicaciones

de esta fuente energética y exponemos un análisis básico de los aspectos tecnológicos más relevantes relativos a la Energía Solar Fotovoltaica.

En los dos capítulos siguientes se analiza la situación de la ESFV en el mundo y en el estado español, poniendo especial atención en los programas de desarrollo e inversiones económicas.

A continuación, se trata el tema de los diferentes

costes que se han de asumir al utilizar la Energía Solar Fotovoltaica, así como de su impacto ambiental.

Para finalizar, se realiza una propuesta sobre las acciones y los recursos económicos que sería necesario poner en juego con el objetivo de impulsar de un modo apreciable el desarrollo de la ESFV en nuestro país.

APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

EL ESTADO actual del desarrollo tecnológico para la producción de electricidad mediante ESFV permite una gran variedad de aplicaciones.

Estas aplicaciones se pueden dividir en dos grupos bien diferenciados:

- a) Aplicaciones no conectadas a la red eléctrica convencional. Este grupo incluye un amplio abanico de aplicaciones que no suministran ni reciben potencia de la red eléctrica convencional. En la figura 1 se presenta un ejemplo de sistema fotovoltaico autónomo, con líneas de corriente continua y de corriente alterna.
- b) Aplicaciones conectadas a la red eléctrica convencional. Este grupo tiene por objetivo la producción de electricidad para la red eléctrica convencional en combinación o no con otras fuentes energéticas. También se empiezan a aplicar con la finalidad de mejorar la señal de la red en ciertos puntos, como finales de red. Otra modalidad de sistemas conectados a la red son las viviendas fotovoltaicas conectadas a red. En estas viviendas el suministro de energía sería aportado por la red eléctrica convencional solamente en el caso de que la energía aportada por el sistema fotovoltaico no fuera suficiente. En operación normal toda la energía sería aportada por el sistema fotovoltaico, siendo posible la inyección a red de los excesos de energía fotovoltaica.

Las instalaciones no conectadas a red extienden su aplicación a un amplio rango de posibilidades, algunas de las cuales mencionamos a continuación:

- a.1) Señalización, toma de datos y comunicación. Incluye toda una serie de aplicaciones autónomas, con la característica de precisar un bajo mantenimiento. Como ejemplo podemos mencionar repetidores, señalización y teléfonos de socorro en autopistas, sistemas de navegación

aérea, radiofaros, equipos de comunicación en puestos de vigilancia forestal, señalización en plataformas petrolíferas, estaciones de toma de datos medio ambientales, sísmicos y meteorológicos, plataformas oceánicas de toma de datos, control remoto de presas y protección civil.

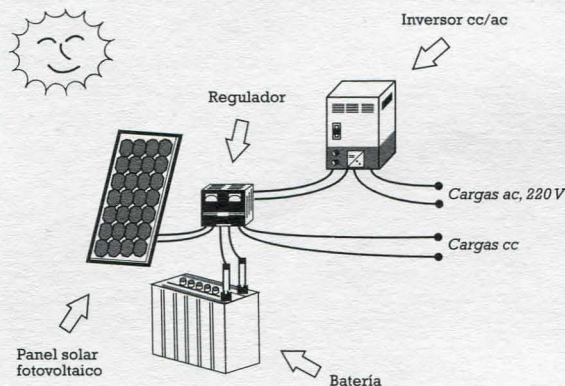


Figura 1: Sistema fotovoltaico autónomo, con líneas para cargas eléctricas de corriente continua y de corriente alterna.

- a.2) Viviendas e iluminación vial. Estas instalaciones se encargan de cubrir el suministro de energía demandada para iluminación vial y de lugares públicos, así como para el consumo eléctrico en viviendas, que incluye desde la iluminación hasta todo un equipamiento de electrodomésticos, dependiendo de la potencia instalada. Las aplicaciones típicas son viviendas aisladas, viviendas de fin de semana y refugios de montaña.
- a.3) Aplicaciones agrícolas y ganaderas. Podemos mencionar, como ejemplos, bombeo de agua, riego por goteo y baja presión, iluminación de invernaderos, telecontrol de redes de riego, ilu-

minación de granjas y establos, sistemas de ordeño, refrigeración de leche, electrificación de cercas, etc.

- a.4) Desalinización de agua salobre y de mar.
- a.5) Protección catódica de puentes, gasoductos y oleoductos.
- a.6) Otras aplicaciones. Ejemplos de aplicaciones diversas son la iluminación publicitaria, pequeños aparatos (calculadoras, relojes), aplicaciones en yates, camping, caravanas, etc.

Las aplicaciones de la ESFV conectadas a la red se presentan en dos modalidades:

- b.1) Viviendas fotovoltaicas conectadas a red como suministradora auxiliar de energía. Esto permite la utilización de la energía de la red en posibles períodos de insolación insuficiente; Cuando el sistema fotovoltaico no sea capaz de generar toda la energía necesaria, se recurre a la red eléctrica convencional. A la inversa, los excesos de electricidad generados por el sistema fotovoltaico pueden ser inyectados en la red.
- b.2) Centrales fotovoltaicas conectadas a la red.

Estas plantas de producción eléctrica tienen como objetivo alimentar la red eléctrica convencional y/o mejorar el suministro de la red eléctrica en casos concretos (finales de red, etc.).

Las aplicaciones no conectadas a la red eléctrica, ya han ganado un cierto mercado, que se ampliará de forma considerable en la medida en que los costes de la ESFV se reduzcan. La construcción de grandes centrales solares fotovoltaicas contribuirá a la dinamización de este mercado y por tanto, a reducir los costes.

No obstante, la falta de recursos para investigación en el campo fotovoltaico, provoca que la tecnología no esté suficientemente madura para que los costes de producción de las grandes centrales fotovoltaicas sean equiparables con otras formas de producción de energía eléctrica (supuesta una evaluación de costes basada en los criterios convencionales). Sin embargo, actualmente y en muchas aplicaciones aisladas, la energía solar fotovoltaica es económicamente viable.

ESTADO DE LA TECNOLOGIA

Paneles solares

LA PRODUCCION de energía eléctrica a partir de la radiación (luz) solar se basa en la capacidad de las células solares fotovoltaicas para llevar a cabo la transformación de la energía de esta radiación en corriente eléctrica. La célula solar constituye la unidad básica de producción de ESFV y está formada por capas de material semiconductor con impurezas donadoras y aceptadoras de electrones. El campo eléctrico creado en la unión entre las capas de semiconductor separa de esta unión los electrones (y huecos) que hayan sido desligados de la nube electrónica al absorber fotones de la radiación solar. Conectar un aparato eléctrico a la célula o panel solar, cerrando así el circuito eléctrico, permite el aprovechamiento de la energía generada. La figura 2 presenta un diagrama explicativo del efecto fotovoltaico en una célula solar.

La agrupación de varias células solares forma el panel solar, también llamado módulo, unidad básica instalada de producción de potencia.

La fabricación de paneles solares de silicio monocristalino y policristalino precisa de la obtención de silicio de una forma denominada de grado solar, que se caracteriza por tener una pureza menor que el silicio empleado en aplicaciones electrónicas, denominado silicio de grado semiconductor. Sin embargo, los excedentes de la industria electrónica han propi-

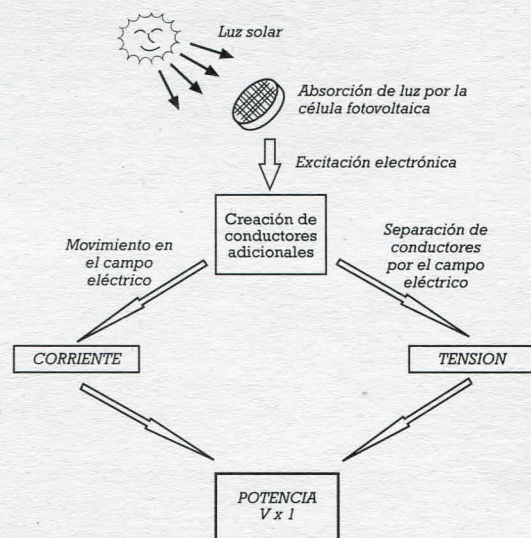


Figura 2: Esquema del funcionamiento de una célula solar fotovoltaica.

ciado la utilización de silicio de grado semiconductor. A partir del silicio de grado solar o semiconductor, se obtienen bloques de silicio cristalizado, ya sea en forma monocristalina o policristalina. En el primer caso, cada bloque de silicio está formado por una misma red cristalina ininterrumpida, mientras

que podemos figurarnos el bloque de silicio policristalino como un bloque cristalino que ha sido roto y cuyos trozos se han vuelto a unir de un modo desordenado. Esta diferencia supone una ligera variación de las características del silicio cristalino respecto al silicio policristalino, a favor del primero. El ahorro económico que supone fabricar silicio policristalino hace asumible, en algunos casos, tal diferencia. En nuestro país no se producen estos bloques de silicio sino que se importan, para ser posteriormente divididos en obleas (láminas) que serán tratadas hasta convertirlas en células solares.

Una vez obtenidas las obleas de silicio se procede a una preparación de la superficie y el volumen interno de la oblea. Estos procesos atañen al "arreglo" de la superficie después del proceso de corte o separación de la oblea del bloque de silicio, a la formación de la denominada unión PN mediante la inclusión de las impurezas que crearán la diferencia de potencial en el interior de la oblea y aportarán conductores, la disposición de unos "dedos conductores" en la oblea, que se encargarán de recoger la corriente eléctrica generada en el seno de la oblea y finalmente la deposición de una capa antirreflectante. Los procesos enumerados permiten transformar la oblea de silicio en una célula solar fotovoltaica, capaz de producir electricidad.

El conjunto de células solares agrupadas de un determinado modo es denominado panel solar, que reunirá una serie de características eléctricas concretas. Por diversas razones se ha de proceder a la selección de las células solares, de manera que en un mismo panel solar no se registren diferencias excesivas en cuanto a las características eléctricas de las células que lo constituyen. Una vez seleccionadas las células solares que formarán parte de un panel solar, son conectadas por una red de conexiones eléctricas (los "dedos conductores"), incluidas en un material encapsulante y protegidas por dos cubiertas, estando fabricada en vidrio la cubierta que recibe la luz.

La fabricación de paneles solares de lámina delgada (incluyendo células de silicio amorfo y policristalino), difiere ostensiblemente de lo expuesto para el silicio mono y policristalino, basándose en la formación de células o superficies fotovoltaicas más o menos extensas mediante la deposición de capas finas de material semiconductor.

La valoración de la capacidad de conversión de la energía recibida del Sol en energía eléctrica se evalúa, para un cierto modelo de panel solar, mediante un parámetro denominado eficiencia del panel. Esta eficiencia está dada en % y representa la proporción de energía solar que es transformada en energía eléctrica.

Actualmente y a nivel mundial, la máxima eficiencia de conversión, para paneles solares producidos masivamente, se sitúa en un 15.3% para paneles de Si monocristalino (fabricados en España). Se estima que la máxima eficiencia alcanzable para estos paneles es del 26%. Hacia el año 2000 se espera producir comercialmente paneles de Si monocristalino con eficiencias del 18%. Los paneles solares de Si policristalino alcanzan una eficiencia de conversión máxima de 11.1%, siendo su límite teórico de 22%. En cuanto a los paneles de Si amorfo se alcanzan eficiencias del 6.8% situándose el límite teórico en 20%. Para el año 2000 se espera producir paneles solares de Si amorfo con una eficiencia del 8%. Finalmente los paneles de CdTe alcanzan un 7.25% de eficiencia, con un límite teórico del 28%. Estos datos son mejorados por prototipos de laboratorio, llegando en algunos casos a aproximarse mucho a los límites teóricos.

Una instalación solar puede constar de un número arbitrario de paneles solares, alcanzando la potencia instalada requerida para una aplicación concreta.

En Europa las instalaciones fotovoltaicas incorporan paneles solares que generan energía a partir de la radiación solar recogida en su superficie. Además de los paneles solares convencionales, se están desarrollando los denominados sistemas de concentración, que constan de dispositivos ópticos encargados de recoger la radiación solar para concentrarla en células solares. Con esto se trataría de reducir el costo de los paneles solares mediante el ahorro que supone con tecnología de concentración han adquirido un grado de desarrollo tal que permite su comercialización en pequeña escala.

Las figuras 3, 4 y 5 permiten tener una idea aproximada de la importancia económica de los paneles solares a la hora de evaluar el coste total de un sistema fotovoltaico completo.

Acumuladores de energía

El flujo electrónico generado por los paneles fotovoltaicos da como resultado una corriente continua (dependiendo de la disponibilidad de radiación solar), pudiendo esta energía ser utilizada instantáneamente en aplicaciones sin acumuladores energéticos o en otro momento, a través de acumuladores de energía como las baterías de plomo-ácido (o dispositivos análogos), normalmente con salidas a 12 V o 24 V.

Estos acumuladores permiten almacenar la energía eléctrica que no es utilizada instantáneamente, pudiendo ser empleada cuando no hay insolación suficiente para cubrir las necesidades inmediatas de

energía (durante la noche o días nublados).

La utilización de acumuladores de Pb-ácido plantea problemas tecnológicos, relativos a la influencia negativa que los procesos de carga y descarga pueden producir en la vida y eficacia de estas baterías.

La adecuación de las baterías a la utilización concreta que de ellas se hace en ESFV es un tema a tratar en el campo de la investigación y el desarrollo.

La figura 3 presenta una distribución aproximada de los costes de un sistema fotovoltaico autónomo que incluye baterías, permitiendo apreciar que el sistema de acumulación representa una parte apreciable del precio del sistema completo.

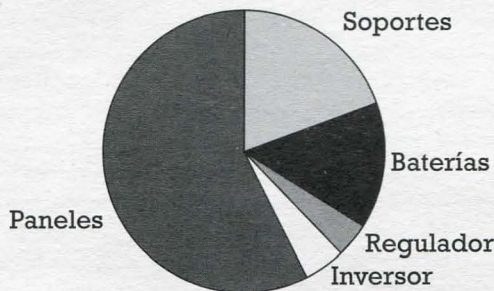


Figura 3: Distribución aproximada de costes para los componentes de un sistema fotovoltaico autónomo de pequeña potencia.

Inversores

Existe la posibilidad de utilizar un inversor o convertidor entre los acumuladores de energía y todos o algunos de los aparatos eléctricos que se desea hacer funcionar (denominados cargas eléctricas o cargas). La función de estos inversores es transformar la corriente continua (cc) de las baterías en una corriente alterna (ca) de características similares a las de la red eléctrica convencional.

Un objetivo importante a desarrollar en relación con estos inversores es el aumento de la eficiencia del inversor para todas las potencias de salida, es decir un aumento de la relación entre la potencia proporcionada a las cargas y la potencia entregada por las baterías al inversor. Actualmente esta eficiencia se reduce cuando disminuye la potencia demandada por la carga, lo que se traduce en pérdidas de energía.

Otro problema básico que afecta a los inversores es conseguir que la forma de la onda generada por éstos sea lo más similar posible a la de la red eléctrica convencional. Estos dos problemas han de ser resueltos en cada caso a un coste económico moderado.

Un tercer problema abierto es el desarrollo de inversores con alta potencia nominal, para ser utilizados en centrales fotovoltaicas.

Las figuras 3, 4 y 5 permiten tener una idea aproximada de la importancia económica de los inversores a la hora de evaluar el coste total de un sistema fotovoltaico completo.

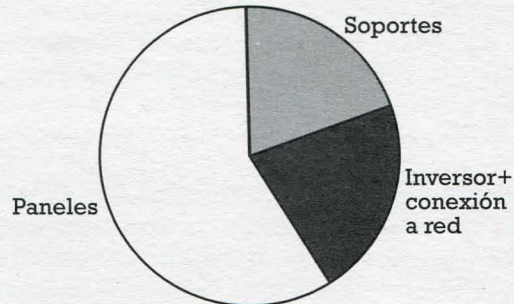


Figura 4: Distribución aproximada de costes para los componentes de una vivienda fotovoltaica conectada a la red eléctrica convencional. Este sistema no precisa acumulador de energía.

Reguladores

Los reguladores de carga de los sistemas fotovoltaicos son dispositivos electrónicos que controlan, en función de algunos parámetros, el estado de carga de las baterías.

Según el número de parámetros a controlar, el regulador será más o menos complejo. El parámetro básico a controlar por parte del regulador es el voltaje de la batería. Una sobrecarga o sobredescarga excesiva de las baterías puede suponer una drástica reducción de su vida útil.

Una función de los reguladores paralela a la anterior, cuya finalidad es prolongar la vida útil de las baterías, vendría dada por la necesaria desconexión de las cargas, en el caso de alcanzar las baterías un bajo (alto) estado de carga, ya sea por falta de radiación solar o por excesivo consumo (por exceso de radiación solar o falta de consumo).

La figura 3 presenta una distribución aproximada de los costes de un sistema fotovoltaico autónomo que incluye regulador, permitiendo apreciar que proporción del precio total del sistema fotovoltaico corresponde a la adquisición de reguladores.

Cargas eléctricas

Los sistemas fotovoltaicos autónomos tienen como objetivo permitir la operación de dispositivos o eléctricos o electrónicos tales como sistemas de bombeo de agua, sistemas de iluminación, sistemas de comunicación, etc. En el lenguaje técnico, estos dispositivos son denominados cargas eléctricas.

El mercado tradicional de ca puede dotar al usuario de toda la gama de cargas requeridas. Sin

embargo, la correcta operación de estas cargas en ca dependerá del grado de perfeccionamiento del inversor. Así pues, se han venido desarrollando una serie de cargas que cubriendo las necesidades del usuario puedan ser utilizadas en cc, conectándolas directamente a la batería o a través del regulador, pero sin intervención del inversor. Con la utilización de estas cargas de cc se ahorraría el gasto correspondiente a comprar un inversor.

Sin embargo, el mercado de cargas en cc resulta ser minoritario, con lo cual, en algunos casos, su grado de desarrollo no llega a ser completamente satisfactorio desde un punto de vista operativo (por ejemplo en sistemas de iluminación fotovoltaico) al compararlo con el mercado de cargas alimentadas por ca. Así pues, se tiende a desarrollar unos inversores lo más eficaces posible, de tal modo que las cargas a utilizar en ESFV pertenezcan al mercado tradicional de ca.

Integración arquitectónica

La integración de las instalaciones fotovoltaics en la arquitectura está siendo cada día más desarrollada, ampliando en gran medida las posibilidades para el emplazamiento urbano de esta tecnología. Las técnicas de integración arquitectónica presentan la ventaja de reducir el impacto visual y ambiental, ahorrar espacio, y posibilitar el aprovechamiento directo de la Energía Solar Fotovoltaica en las instalaciones eléctricas de los propios edificios.

En las figuras 3, y 4 se presenta una estimación de la proporción del precio del sistema total que representan los sistemas de soporte. La integración arquitectónica permitiría ahorrar una parte de los costes por este concepto.

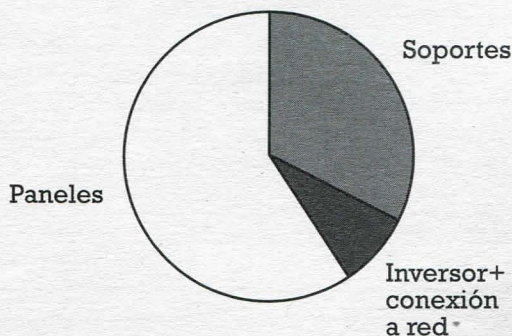


Figura 5: Distribución aproximada de costes para los componentes de una central eléctrica fotovoltaica conectada a la red eléctrica convencional.

Centrales eléctricas fotovoltaicas

Las centrales solares conectadas a la red tienen la función de producir energía eléctrica para su aprovechamiento en la red eléctrica convencional. Estos sistemas no precisan de acumuladores. Se caracterizan por presentar una serie de problemas diferentes a los encontrados en las instalaciones autónomas.

Estas centrales conectadas a la red se presentan en varias modalidades, teniendo diversas aplicaciones aparte de la mera producción de electricidad. Se presenta la posibilidad de utilizarlas como fuente de energía para la red eléctrica convencional; como fuente de energía para mejorar la calidad o continuidad del suministro en los finales de la red eléctrica convencional donde el servicio eléctrico sea deficiente; como fuente energética de modo simultáneo o alternado con otras fuentes de energía, tales como centrales hidroeléctricas o eólicas (la central hidroeléctrica sería el principal proveedor de electricidad en los meses lluviosos y la central fotovoltaica en los meses secos), etc.

Un primer requerimiento en el diseño de estas centrales es el control de las agrupaciones de paneles solares, de tal forma que no se conecten paneles con una diferencia de potencia superior al 10%.

Se precisan una serie de protecciones; La protección a tierra, protección por diodos para evitar los efectos perjudiciales del sombreadamiento de una parte del campo solar y protección contra sobrintensidades originadas por el posible comportamiento del campo solar como un receptor frente a los sistemas inversores.

Se ha de prever el funcionamiento de toda una serie de sistemas a la intemperie y en consecuencia adaptar los materiales utilizados a las condiciones ambientales. Otro punto en relación con este tipo de instalaciones es el de acondicionamiento de potencia de los sistemas de inversores que inyecten potencia a la red. En definitiva existen toda una serie de nuevos problemas a resolver para lograr un correcto diseño de las centrales eléctricas fotovoltaicas.

La figura 4 presenta una estimación de la importancia económica relativa de cada uno de los principales componentes de una central fotovoltaica.

Dimensionado

Antes de emprender la instalación de un sistema fotovoltaico se ha de proceder a la evaluación de las necesidades energéticas y de la cantidad de energía solar disponible. El dimensionado de un sistema fotovoltaico consiste en el análisis de estos dos factores y en la consiguiente elección de todos los elementos que integran una instalación fotovoltaica.

En primer lugar se ha de proceder a la evaluación de los recursos energéticos (disponibilidad local de radiación solar, radiación máxima y mínima estacional, etc.), para pasar, en segundo lugar, a calcular el número correcto de paneles solares y acumuladores, teniendo en cuenta las necesidades energéticas del

usuario.

El dimensionado tiene un efecto directo sobre el resultado final del proyecto, ya sea desde el punto de vista de la operatividad como del resultado económico.

PROGRAMAS NACIONALES PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA

LA MAYORIA de los países desarrollados consideran como un objetivo de primer orden la diversificación energética. Las razones para ello son tanto de orden económico como estratégico así como, en un segundo término, de orden ecológico.

Las razones de orden estratégico-económico están obviamente relacionadas con la necesidad por parte de cualquier país de mantener una independencia energética en caso de crisis (económica o política) internacional.

Las razones de tipo ecológico han de ser precisadas en el sentido de que el mantenimiento de programas de energías renovables se debe más a un deseo de "lavar la imagen" que a la admisión, por parte de los poderes políticos o económicos, de una necesidad. Ejemplo de la veracidad de esta afirmación la podemos encontrar en la proporción de espacio dedicado a las energías renovables en las campañas publicitarias estatales y de las compañías eléctricas. Esta atención propagandística es absolutamente desproporcionada si la comparamos con los fondos dedicados a la promoción económica real de las energías renovables.

La mayoría de los programas presenta una serie de características comunes como los campos de investigación básica más atendidos, el interés por las instalaciones de demostración, etc. Sin embargo es observable la aparición de tres filosofías relativas al futuro papel de la Energía Solar Fotovoltaica.

Estas tres opciones se refieren a un modelo que apuesta por instalaciones de todo tipo, como el caso de los EEUU, otro modelo que apuesta por centrales de tamaño pequeño y mediano con tendencia a la descentralización, como en el caso de los Países Bajos y finalmente el modelo italiano que apuesta fuertemente por las grandes instalaciones conectadas a red.

Es de observar como países que tradicionalmente no son considerados como ideales para la instalación de la ESFV -por ejemplo Finlandia y los Países Bajos- están desarrollando interesantes programas

en el campo de la ESFV.

En cuanto a los países no desarrollados, hay que señalar un bajo aprovechamiento de esta fuente energética, en comparación con los países desarrollados y con el potencial solar disponible. Este aprovechamiento viene propiciado tanto por programas de los países desarrollados en países no desarrollados, como por algunos programas fotovoltaicos de los países no desarrollados. Con el fin de conocer la implantación mundial de la ESFV presentamos, en la figura 6, la distribución final por países de la potencia pico producida de ESFV. En ella se observa que la mayor parte de la producción de potencia fotovoltaica tiene su destino final en los países desarrollados.

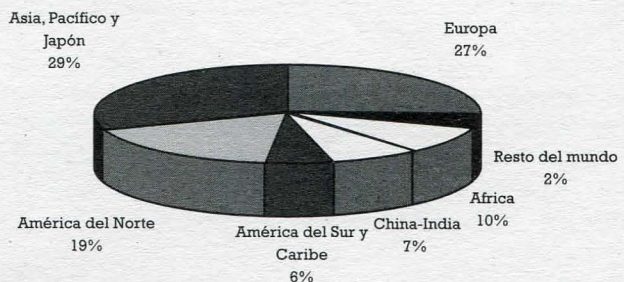


Figura 6: Proporción de la potencia pico fotovoltaica que es instalada en varias regiones mundiales (Barlow 1994)

A continuación vamos a exponer los aspectos más destacados que presentan los programas fotovoltaicos de varios países desarrollados y a analizar la evolución de la ESFV en ellos.

EE.UU.

El programa fotovoltaico de los EE.UU. está coordinado por el DOE (Department of Energy). Cubre los años de 1991 a 1995. Sus objetivos se centran en la reducción de coste y la transferencia de tecnología al sector privado, así como en la continuación de la investigación básica. Un punto importante de este

plan es el objetivo de desarrollar la tecnología fotovoltaica hasta conseguir la generación de potencia eléctrica a gran escala (aunque no necesariamente en centrales) de un modo económicamente competitivo.

En concreto, se trataría de alcanzar el objetivo planteado en el anterior plan de los EE.UU.: reducir el precio de la electricidad así generada hasta 5 ó 6 centavos por kWh, incrementando el tiempo de vida de la instalación hasta 30 años y la eficiencia hasta un 15% para paneles solares y hasta un 25% para tecnologías de concentración. Este desarrollo llevaría a la instalación de 1000 MW de potencia en el año 2000.

Desde la publicación del último plan en 1987, el precio de la energía fotovoltaica en EE.UU. se ha visto reducido en un 30%, hasta llegar a cerca de 25 a 30 centavos por kWh en aplicaciones conectadas a red, aumentando las ventas de 28.6 MW en 1987 a 46.5 MW en 1990. Desde el año 1972, el precio de los módulos ha caído desde 500 dólares por W hasta 4.5 dólares por W en 1990.

Desde 1970, el gobierno de los EE.UU. ha invertido cerca de 1000 millones de dólares en investigación, elevándose a 2000 millones de dólares la inversión de la empresa privada y creciendo la industria fotovoltaica un 30% anualmente.

Así pues, los logros arriba mencionados han de ser relacionados con el esfuerzo privado y estatal para conseguir el desarrollo de la tecnología fotovoltaica.

Dos programas internacionales se ocupan de establecer una base para las energías alternativas en los países en vías de desarrollo. El programa FINESSE realiza esta labor en varios países asiáticos, mientras el programa Americas'21st Century se ocupa de América Latina y el Caribe.

Países Bajos

El programa de I+D desarrollado para la ESFV por este país tiene su inicio en 1978, alcanzado una inversión de 5.6 millones de ECU entre 1990 y 1994. El Ministerio de Asuntos Económicos planea ahorrar 2 PJ de combustible sólido para el año 2010 mediante la puesta en operación de 250 MWp de Energía Solar Fotovoltaica. Un nuevo programa, operativo a partir de 1995, se centra en la preparación de sistemas conectados a red mediante proyectos piloto a gran escala.

El programa de investigación se centra en mejoras que afectan esencialmente a cinco factores:

1. Apoyo a las aplicaciones actuales y creación de mercado, con especial atención a los sistemas con Si-policristalino.

2. Nueva generación de células solares de bajo costo, Si amorfo y materiales orgánicos.
3. Futuros materiales candidatos a presentar alta eficiencia a bajo costo, como los compuestos III/V crecidos en sustratos de Si.
4. Integración en la arquitectura.
5. Inversores.

El siguiente paso de este programa se centra en la utilización concreta de la Energía Solar Fotovoltaica. La elección de este país se dirige a sistemas descentralizados, conectados a red e integrados en los tejados de las casas individuales.

Finlandia

El programa finlandés para la I+D de la Energía Solar Fotovoltaica se denomina NEMO 2, extendiéndose su aplicación a los años 1993-1998. Los proyectos que cubre tienen un carácter esencialmente práctico (casas fotovoltaicas autónomas, almacenamiento estacional, etc.).

Sin embargo son las empresas privadas las que muestran una mayor vitalidad, interesándose especialmente en aplicaciones aisladas (casas de verano, ayudas a la navegación, etc.).

Italia

El plan energético italiano aprobado en 1990 tiene como objetivo el desarrollo de la tecnología y la obtención del conocimiento necesario para producción de electricidad a gran escala. Con esta finalidad se propone el desarrollo de nuevos materiales para uso fotovoltaico y el desarrollo industrial para la producción masiva de paneles fotovoltaicos. Finalmente planea la construcción de plantas piloto para demostración e investigación, proponiéndose una potencia instalada de 25 MW en 1995.

Los agentes estatales que lideran esta propuesta son ENEA y ENEL. La primera agencia se ocupa de I+D y la segunda de programas de demostración.

En el campo legal, el apoyo a la Energía Solar Fotovoltaica (ESFV) se realiza mediante unas leyes promulgadas por el parlamento italiano, que promocionan la instalación de plantas fotovoltaicas para producción de energía eléctrica mediante soporte financiero a promotores privados o públicos. Los sistemas fotovoltaicos en viviendas aisladas y para iluminación son también apoyadas por estas leyes, mediante subvenciones que pueden alcanzar un 80% del valor de la instalación, mientras granjas similares pueden obtener subvenciones de hasta un 55%. Las centrales para producción energética de uso industrial pueden recibir una subvención de hasta un 30% y si presentan características innovadoras, esta

ayuda puede alcanzar hasta un 50%.

Además, estas leyes posibilitan la venta de la energía de origen fotovoltaico a la red eléctrica nacional vía ENEL, a un precio fijado por una comisión de gobierno (CIP), procurando que este precio incentive al productor.

El resto de los programas italianos se ocupa de un amplio y variado espectro de temas de investigación, tanto básica como de aplicación práctica.

Como consecuencia de este apoyo público, más de 12 MW de potencia fotovoltaica fueron instalados en los últimos 10 años.

Japón

El programa fotovoltaico de Japón se encuentra incluido en el programa de energías renovables denominado Sunshine Project, cuyo objetivo es suministrar una parte importante de la energía consumida en Japón mediante Energía Solar Fotovoltaica (ESFV) en el año 2000. El proyecto cubre el período de tiempo comprendido entre 1974 y el año 2000.

Los objetivos de este programa tienen un marcado carácter de investigación básica, orientada a conseguir una rápida transferencia a la industria de la tecnología adquirida. Los objetivos de la investigación se centran en la reducción del coste de fabricación y mejora de la eficiencia de los compuestos de Silicio.

En 1990 fueron destinados aproximadamente 54 millones de dólares al desarrollo de la ESFV. Esta inversión fue dividida en subproyectos que fueron desarrollados por 12 grupos industriales, 2 institutos gubernamentales y 6 Universidades.

Entre los años 1976 y 1990 la producción ha crecido treinta veces, lo cual supone un incremento anual de 130%, reduciéndose el precio de los módulos desde 50 dólares/Wp a 4.5 dólares/Wp.

La estrategia japonesa para el desarrollo de la ESFV para por la reducción del precio de producción en grandes cantidades de los componentes de las instalaciones fotovoltaicas y, especialmente, de los paneles solares.

En cuanto a la situación actual de la ESFV cabe señalar el interés del plan japonés por los proyectos de demostración, habiendo comprobado la eficacia de los sistemas fotovoltaicos de tamaño medio.

En el área doméstica se procedió a la puesta en funcionamiento de más de treinta plantas de producción de electricidad con capacidad entre 3 kWp 200 kWp. Actualmente se está procediendo a la instalación de 100 sistemas de 2 kW para uso en viviendas privadas. En el campo de grandes centrales cabe mencionar la existencia de una central de 1 MW, operativa desde 1986.

El Sunshine Project está siendo continuado por el New Sunshine Project sin que esto suponga una variación de los objetivos, pero si un incremento del presupuesto dedicado a las Energías renovables (ER).

En definitiva, podemos afirmar que el desarrollo de la ESFV en Japón está permitiendo la operatividad económica de este tipo de energía. Este progreso se basa en la promoción de programas de I + D y en un estímulo estatal del mercado.

Alemania

El programa de energías renovables Alemán supuso una inversión de 3000 millones de DM, de los cuales 644.4 millones DM se destinaron a la ESFV. Esta cantidad se gastó en el período de 1974 a 1990. En 1991 han sido 109 millones DM los destinados a la ESFV. Los objetivos del programa se dirigen en el sentido de mejorar las condiciones económicas de la ESFV mediante la investigación y desarrollo de componentes, células solares y módulos, así como hacia el desarrollo de instalaciones de demostración.

La parte más importante de los ingresos destinados a la I + D de la ESFV en Alemania tiene su origen en el BMFT (Ministerio Federal para la Investigación y el Desarrollo). La financiación para la ESFV alcanza 88 millones DM en 1994. Existen además programas patrocinados por cada Estado Federal y por el DBU (Fundación Ambiental de la RFA) que aporta más de 15 millones de DM anuales para las energías renovables y la conservación de la energía.

El programa alemán trata de conseguir una reducción de los costes económicos, a través de la I+D de células solares y módulos y de la demostración y mejora de la operación y fiabilidad de sistemas fotovoltaicos completos y sus componentes.

El desarrollo de las células solares se centra en tres aspectos: Un desarrollo básico de los procesos de fabricación relativos al silicio cristalino (producción, células, contactos etc), células de lámina delgada y reducción del impacto en el medio ambiente de la producción de las diferentes partes de los sistemas fotovoltaicos.

Otro tema considerado por el programa alemán es el desarrollo de sistemas y su demostración. En este aspecto, el programa se centra en la estandarización de sistemas de pequeño y mediano tamaño, grandes sistemas y tecnología fotovoltaica para países del tercer mundo.

En el caso de centrales conectadas a red se puede señalar la existencia de tres centrales de 340 kWp, 360 kWp y 300 kWp. Es de destacar el "Proyecto de los mil tejados", que supone la instalación de 1.500 sistemas fotovoltaicos de entre 1 y 5 kWp en viviendas particulares.

UNION EUROPEA

Desde 1989 la Unión Europea viene financiando la ESFV con unos fondos que hasta 1993 alcanzan un total de 126.3 MECU.

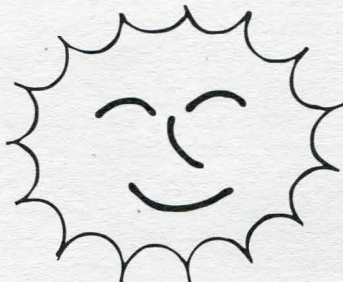
Varias direcciones generales (DG) incorporan programas que consideran a la ESFV como objeto de interés:

- a) El programa VALOREN se encuadró en la DG XVI, abarcó el periodo 1988 hasta 1992 procurando mejorar el suministro de energía a las zonas menos privilegiadas de Europa, instalando, principalmente, sistemas fotovoltaico aislados e híbridos (especialmente con sistemas eólicos).
- b) Los programas JOULE I y su ampliación JOULE II (1990 a 1994) pertenecen a la DG XII, que se ocupa de la I+D y promoción de las energías nucleares. El programa JOULE II está dotado con 32 millones de ECU para la ESFV. El objetivo de este programa, en lo que se refiere al desarrollo de paneles solares fotovoltaicos, es alcanzar un coste del módulo fotovoltaico de 1 ECU/Wp hacia el fin de la década. En lo relativo a sistemas fotovoltaicos, el objetivo es desarrollar aplicaciones de inmediata introducción en el mercado. Para ello se han definido tres líneas de desarrollo: Tecnología de sistemas completos y de subsistemas, instalaciones aisladas y aplicaciones conectadas a red. Otro objetivo a desarrollar por el proyecto JOULE II trata de integrar aplicaciones de energías renovables en lugares geográficos concretos tales como provincias, municipios e islas.
- c) APAS. Este nuevo programa está encuadrado en la DG XII y tiene como objetivo desarrollar métodos para integrar las energías renovables en la sociedad. Los objetivos de este programa son la integración de las energías renovables en el ámbito regional, la desalinización de aguas del Mediterráneo, integración urbana y generación de ESFV en colaboración con países en desarrollo. Está dotado con 25 MECU y el proyecto se inició en 1995.

- d) El programa THERMIE (DG XII) es un programa de demostración de las "nuevas" tecnologías en operación real. También procura facilitar la penetración de las energías renovables en el mercado de los países de la Unión Europea. Durante 1992 este programa fue dotado con 32 MECU para ESFV.
- e) ALTERNER (DG XII). Cubre el periodo de 1993 hasta 1997, desarrollando la penetración de las energías renovables en los países de la Unión Europea. Uno de sus objetivos es el de elevar la contribución de las energías renovables hasta un 8% de la energía total demandada y triplicar la producción de energía eléctrica producida mediante las energías renovables hasta el año 2005.
- g) PHARE (DG I) es un programa que se ocupa de financiar la asistencia técnica en el campo de las energías renovables a países de Europa central y del este.
- h) La DG VIII articula el programa de desarrollo internacional. Un ejemplo de aplicación de este programa en el campo fotovoltaico fue la instalación en los países del SAHEL de sistemas de iluminación, bombeo y refrigeración, alcanzando una potencia de 1.3 MW.

Otras acciones de tipo organizativo, relacionadas con la ESFV dentro de la UE son

- La definición por parte de la UE de un centro de investigación asociado (ISPRA) con la función de monitorizar plantas fotovoltaicas y controlar los módulos fotovoltaicos. Este centro participa también en varios programas subvencionados por la UE.
- La creación de la agencia EUREC que agrupa empresas de 30 países, todos implicados en el desarrollo de las energías renovables. Su finalidad es el incremento de las actividades económicas y la realización y coordinación de esfuerzos en I + D, todo ello en el campo de las energías renovables.



SITUACION DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA Y PREVISIONES DEL PEN/PAEE

EN NUESTRO país la tecnología fotovoltaica ha logrado alcanzar un buen nivel de desarrollo industrial, existiendo dos fabricantes de paneles solares, que utilizan tecnología propia o desarrollada en otros países (BPSE e Isotón). Los paneles fotovoltaicos de estas empresas están fabricados completamente en España, una vez importadas las obleas de silicio desde algún país productor. En España se fabrica el módulo fotovoltaico comercial con mayor eficiencia de conversión del mundo. La práctica totalidad de los componentes fotovoltaicos son total o parcialmente manufacturados en España, si bien también se instalan componentes de origen exterior.

En España el potencial de la ESFV es muy alto, dado que se da un índice de radiación media de 4,5 kWh por metro cuadrado y día. Sin embargo en el Plan de Energías renovables (PER) de 1985 elaborado para los años 1986 a 1989, se recogía como objetivo para el año 1992 tener una potencia instalada de 3000 kW. Hay que destacar, que en 1985, había ya instalados 1500 kW, que se había olvidado considerar en el plan. Es evidente, que plantear como objetivo la instalación de 1500 kW en un periodo de 7 años, constituyó una subestimación del potencial de la ESFV en España.

La situación real a 31 de Diciembre de 1993 era de 4 MW instalados o en fase de instalación. Dentro de ellos está considerada la central fotovoltaica de 1 MW denominada TOLEDO PV. Este es el proyecto más significativo que se ha realizado en nuestro país para el desarrollo de esta fuente de energía.

El Plan Energético Nacional (PEN) vigente en estos momentos, ordena la política energética del estado español durante el periodo comprendido entre los años 1991 a 2000.

Dentro de las líneas de investigación prioritarias del PEN, las energías renovables se incluyen -al considerar el sector eléctrico- como un apoyo a la protección del medio ambiente. La financiación de los programas relacionados con las Energías renovables (ER) se efectúa tanto a través de los presupuestos del estado español como de los programas europeos JOULE y THERMIE, tratando de desarrollar "...tecnologías de fabricación de células y paneles solares...".

El Plan de ahorro y eficiencia energética, (PAEE) —que es incluido en el PEN como un apartado— se constituye como una ampliación del PER de 1989. En un párrafo del actual PER se señala que "... las tec-

nologías de aplicación se encuentran desarrolladas y contrastadas en la medida suficiente para que su progresiva utilización constituya una fuente más de abastecimiento energético". Esto contrasta con el ínfimo papel que la ESFV juega en las previsiones del PAEE, incluso en comparación con el resto de las Energías renovables (ER). En 1990, el conjunto de las

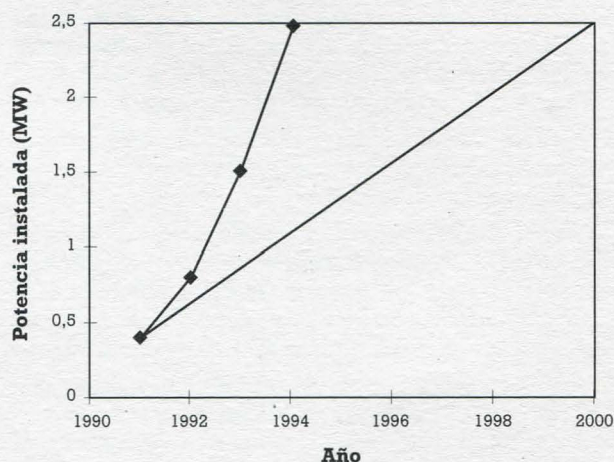


Figura 7: Planes del PAEE para la instalación de energía eléctrica con origen en la ESFV y potencia instalada realmente, partiendo de 0,403 MW en 1991. No se incluye la potencia instalada antes de 1991

Energías renovables (ER) supuso 2460 ktep o el 2,74% de la energía primaria total consumida en España. El PAEE considera esta contribución como "...presencia significativa en el balance de energía primaria" para señalar a continuación que "este resultado refleja en gran medida el apoyo institucional...". Aceptamos lo segundo a costa de contradecir la primera afirmación, es decir, para nosotros el escaso desarrollo alcanzado por las ER es en parte debido al escaso apoyo institucional, que no permite a estas fuentes de energía realizar un despegue definitivo. Es excesivamente conformista el suponer que un 2,74% de contribución de las ER a la generación de energía primaria sea algo "significativo", especialmente al considerar el potencial real de las ER.

Dentro de PAEE, la ESFV se encuadra como generadora de energía eléctrica. La contribución de la ESFV planeada por dicho plan para el año 2000 es de un 0,3% sobre el total producido por las ER. De un modo absoluto, esto equivale a pasar de 3.16 MW en 1990 a 5.66 MW en el año 2000, con un aumento de

solo 2.5 MW en 10 años (ver la figura 7). La propia dinámica del mundo fotovoltaico muestra la subestimación que el PAEE hace de esta energía, considerando que solo la central de Toledo produce cerca de 1 MW, estando prácticamente en fase operativa desde 1994. La figura 7, muestra la previsión del PAEE relativa a la instalación de nueva potencia generada mediante ESFV entre los años 1991 y 2000 y la nueva potencia realmente instalada hasta el año 1994. De la figura se deduce que estas previsiones estatales han sido alcanzadas 6 años antes de lo previsto.

El plan de ahorro y eficiencia energética (PAEE) sigue articulándose -como en anteriores ediciones- en torno a programas comunitarios, proponiéndose para el período en curso un plan similar al de la unión europea, a nivel del estado español. Esta serie de actuaciones supondría una profundización de lo que ha venido realizándose como consecuencia del "programa de ahorro, conservación y sustitución y de las de fomento de las energías renovables, planificadas en el anterior PEN".

Las previsiones concretas del PAEE, para el año 2000 incluyen la producción de 499 ktep en ER, que son consideradas como ahorro energético al sustituir el consumo efectuado en otras energías; carbón (150 ktep) y productos petrolíferos (349 ktep). Este ahorro se realizará mediante la sustitución por biomasa, solar térmica y geotérmica entre los años 1990 a 2000. Esto contrasta con la previsión del PER de instalar una sola ktep de ESFV en el mismo período de tiempo. En términos de energía primaria e incluyendo la potencia fotovoltaica instalada anteriormente (lktep), se producirían, en total, 2 ktep de origen

fotovoltaico en el período 1990-2000, equivalente al 0.05% propuesto (redondeado a 0.1% en el PEN) para la producción del conjunto de las ER.

El presupuesto económico del PAEE en apoyos públicos a la ESFV, asciende a 2950 Mpts. Teniendo en cuenta que estos apoyos alcanzan la cifra de 189826 Mpts para todo el programa PAEE, se deduce que solo un 1.6% del apoyo público del PAEE está destinado a la ESFV. Considerando el apoyo a las ER, la ESFV recibe solo un 4.2% del presupuesto público.

Teniendo en cuenta que la previsión del PAEE era la instalación de 389 Tep de ESFV en el período 1990-2000, y habida cuenta de que con fecha 31 de Diciembre de 1993 se ha realizado o se está realizando la instalación de 369,2 Tep vemos que siete años antes del plazo propuesto para el actual PER, un 94.9% de los objetivos propuestos ha sido llevado a efecto. Esto demuestra una clara ignorancia en el PEN de las posibilidades reales de la ESFV. Es exigible una actualización de PEN, al menos en los aspectos relativos a la ESFV de tal manera que se emprendan una serie de acciones que apoyen e impulsen realmente el desarrollo de la ESFV.

Situación de la ESFV en las comunidades autónomas

La mayoría de las comunidades autónomas desarrollan acciones de tipo puntual en relación a las energías renovables. Estas acciones suelen tener una vigencia anual, siendo las comunidades autónomas de Andalucía, Aragón, Baleares, Castilla y León, Valencia, Extremadura, Galicia, La Rioja, Navarra y País Vasco las que mantenían alguna disposición vigente, relativa a este tema, en el primer semestre de 1992.

En la tabla 1 se presenta un desglose de la producción de energía eléctrica y de la potencia ya instalada con origen fotovoltaico en las comunidades autónomas a finales de 1993 (fuente IDAE 1994). Andalucía se muestra como la comunidad autónoma con mayor producción de energía fotovoltaica. Esta situación se corresponde con el apoyo que esta comunidad autónoma viene dando a la ESFV, en las áreas de instalación, investigación, desarrollo de normas etc.

COMUNIDAD AUTONOMA DA	PRODUCCION ELECTRICA	POTENCIA INSTALA-
	(MWh)	(kW)
Andalucía	4008	2056
Castilla la Mancha	1081	621
C. Valenciana	675	386
Cataluña	647	343
Canarias	474	249
Castilla y León	461	233
Extremadura	454	235
Baleares	165	93
Madrid	159	120
Murcia	116	59
Galicia	91	51
Aragón	90	53
Cantabria	54	26
País Vasco	18	10
Asturias	11	6
Navarra	10	6
La Rioja	7	3

Tabla 1: Desglose de la producción de energía e/éctrica y de la potencia ya instalada con origen fotovoltaico en las comunidades autónomas, a finales de 1993 (IDAE 1994).

COSTES DE LA ENERGIA ELÉCTRICA DE ORIGEN FOTOVOLTAICO

DESDE el punto de vista económico, la implantación de la ESFV como una alternativa a las fuentes convencionales de energía va a depender de la reducción del precio de la energía eléctrica generada por medios fotovoltaicos.

Actualmente y en base a los parámetros económicos comúnmente considerados, los costes de la ESFV son superiores a los precios medios de las energías convencionales. Sin embargo la evolución de estos costes nos indica que la reducción del coste de la energía Solar fotovoltaica permitirá alcanzar un nivel económicamente óptimo en un futuro cercano.

En este capítulo consideramos los costes de los generadores de energía solar fotovoltaica, así como del resto del sistema fotovoltaico (denominado comúnmente BOS, Balance of System y que incluye inversores, reguladores, cableado etc). Hemos de señalar que cualquier afirmación relativa a los costes del sistema fotovoltaico esta referida a un marco económico y temporal concreto. Por ejemplo, resulta extremadamente difícil dar una evaluación real del coste de producción de los paneles solares en España, ya que la importación de las obleas de Si y las fluctuaciones monetarias suponen un alto grado de variabilidad e incertidumbre. Los costes analizados en este capítulo tienen más que ver con precios de-venta propiamente dichos que con costes de producción.

Por estas razones, los datos aquí expuestos no son trasladados a pesetas, sino que se mantiene la unidad monetaria de los estudios económicos de origen y se señala el marco temporal de referencia.

Evolución de los costes

1. Paneles solares.

Considerando el precio de los paneles solares, las predicciones basadas en un escenario económico similar al actual y suponiendo una ligera recuperación económica, apuntan hacia un crecimiento anual del mercado en un 10% durante 15 años. Con esto y considerando un precio aproximado de 4.2 \$/Wp en 1993, hacia el año 2008 las ventas mundiales serían de 250 MW, y el precio medio en dólares constantes sería de 2.6 \$/VVp. Un escenario más optimista para la ESFV, con la suposición de un cierto apoyo político, nos llevaría a considerar un crecimiento anual del 20% durante 15 años, alcanzando unas ventas de 900 MW en el año 2008 y un precio de 1.98 \$/VVp, en

dólares constantes de 1990. La figura 8 representa gráficamente estas predicciones (Ricaud 1994).

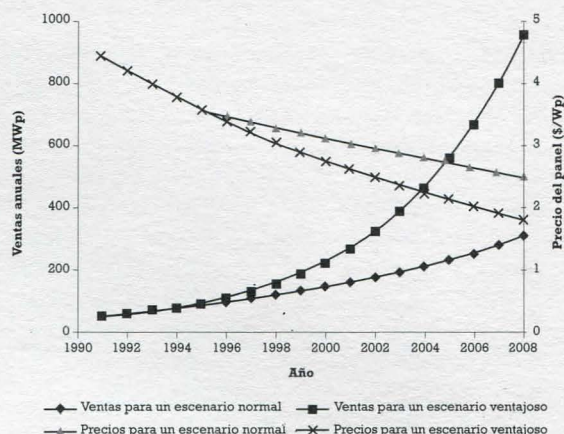


Figura 8: Evolución de las ventas mundiales de potencia fotovoltaica y del precio del panel (\$/Wp), con un escenario como el actual y con un escenario óptimo (10% y 20% de crecimiento anual respectivamente).

2. Sistemas completos

Desde el año 1980 hasta 1993 el precio medio de los sistemas por vatio pico instalado se ha visto dividido por 3, situándose en 1993 en torno a 6.3 \$/VVp. Se estima que para el año 2000 el precio se habrá reducido según un factor de 3/2 situándose entonces en torno a 4.5 \$/VVp de sistema instalado (la unidad monetaria son dólares constantes de 1990).

Estas previsiones surgen de considerar un escenario convencional, es decir sin un apoyo especialmente decidido a la energía solar fotovoltaica. Sin embargo, si se aumentan los recursos en investigación y se consiguen mejoras en algunas tecnologías como la de concentración o las células basadas en Si amorfo, las estimaciones apuntan a que el precio de la instalación puede llegar a ser de 2.5 \$/Wp. Esto supone situar los costes de la energía Solar fotovoltaica a un nivel competitivo respecto a otras fuentes de energía (basado en Ricaud 1994).

Es importante tener en cuenta que a causa del carácter minoritario del mercado fotovoltaico, la evaluación de los costes de los componentes del sistema resulta ser bastante aventurada o ficticia al compararlo con el mercado de productos fabricados masivamente. Se espera que un crecimiento del mercado fotovoltaico permita la fabricación a mayor escala de los componentes (inversores, reguladores etc), lo

cual permitirá tanto la reducción de costes y precios como la asignación de un sentido convencional a estos valores.

Distribución de costes por aplicaciones.

En la Tabla 2 se presenta un desglose de la evolución estimada de los precios para los paneles solares según su aplicación concreta. Estos precios se proyectan hasta el año 2000 (Ricaud 1994).

Se observa en esta tabla como el precio del panel por Wp presenta una relación decreciente con su tamaño, estando esta relación justificada en parte por los mayores áreas de panel utilizados en aplicaciones de mayor potencia. Un ejemplo de esto, relacionado con el coste de sisternas completos, se encuentra al comparar estaciones centralizadas de varios kWp dotadas con una pequeña red de distribución para una pequeña población. Esta disposición de pequeña o mediana instalación centralizada resulta ser más económica que un conjunto de instalaciones individuales que suministren un servicio energético equivalente a la misma población.

La evolución del *mercado recreativo* (<1W), ha alcanzado en los últimos tiempos una estabilización, después del crecimiento experimentado en la última década. Este mercado se basa en la tecnología del Si amorfo.

El mercado de *consumo externo* (<50 W), se basa a partes iguales en el Si amorfo y en el Si cristalino. Este último será sustituido por productos con tecnología de lamina delgada. El crecimiento de este mercado es de un 15% anual.

El mercado *industrial remoto* (1 Wp a 10 kWp), también ha crecido a un ritmo del 15% anual.

El mercado de *Viviendas remotas* (100 Wp a 10 kWp), Está casi completamente basado en la tecnología de Si cristalino con un crecimiento anual del

25% representando un 40% del mercado total en 1990, un 48% en 1995 y se estima que un 54% en el año 2000. Este sector está fuertemente ligado a los programas estatales de ayuda. El mercado de aplicaciones conectadas a la red (1 kWp a 10 kWp) era casi inexistente hasta hace pocos años. Se estima que su crecimiento se sitúa en torno al 30% anual en los países cuya legislación apoya este sector o permite las aplicaciones privadas conectadas a red.

Finalmente el mercado de *plantas centralizadas* (>50 kWp), es de reciente aparición en Europa, siendo aún objeto de debate su futura implantación y operatividad.

En la figura 9 se presenta un gráfico con la distribución aproximada del mercado fotovoltaico de paneles solares por aplicaciones. Las referencias entre paréntesis corresponden a las aplicaciones definidas en el segundo capítulo.

Energías no Renovables y energía Solar Fotovoltaica. Evaluación de externalidades

Si bien la Energía Solar Fotovoltaica es considerada, en general, más cara que las energías no renovables, es sabido que en pequeñas y medianas instalaciones, para uso en lugares aislados, la instalación de ESFV es más barata que el tendido de nuevas líneas eléctricas para la utilización de energías convencionales.

Los estudios realizados sobre el número de trabajadores implicados es la producción, venta, instalación y mantenimiento de las instalaciones de ESFV, indican que la implantación de este tipo de energía no supondrá una reducción del número de puestos de trabajo en relación con las energías actualmente implantadas.

La conservación de fuentes energéticas no renovables habría de ser una prioridad para cualquier

Mercado	Producto	1990 \$/W	1995 \$/W	2000 \$/W
Recreativo < 1 Wp	Relojes, calculadoras, etc	14	13.8	12.9
Consumo externo < 50 Wp	Automóviles, seguridad, etc	7	6.26	5.13
Industrial remoto 1 Wp a 10 kWp	Telecomunicaciones, telemetría, señalización, etc	5.9	5.12	4.19
Viviendas aisladas 100 Wp a 10 kWp	Bombeo, refrigeración, iluminación	5.7	4.46	3.24
Conexión a red 1 kWp a 10 kWp	Tejados en casas privadas y fachadas públicas	5.5	3.95	2.71
Plantas centralizadas > 50 kWp		4.7	3.57	2.59

Tabla 2: Precios de módulos fotovoltaicos y su evolución temporal.

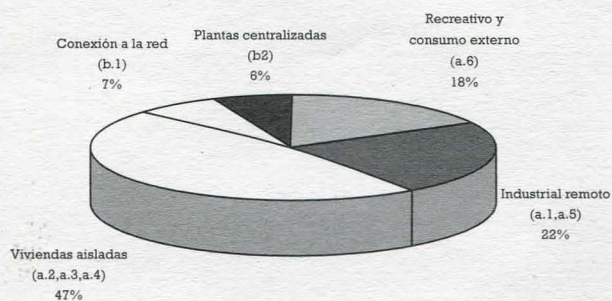


Figura 9: Distribución por aplicaciones del % de la potencia total de los paneles fotovoltaicos vendidos. Las referencias entre paréntesis se corresponden con las definiciones del segundo capítulo.

estado. Toda energía que se obtenga de las fuentes llamadas renovables representa, sin merma del nivel de vida o de la potencia industrial, un importante ahorro de combustibles fósiles, que deberían reservarse al máximo dada su escasez, para su utilización en aplicaciones en las que son insustituibles.

Desde el punto de vista del comercio exterior, la generación de electricidad a partir de derivados del petróleo, carbón o gas natural de importación, comporta un desequilibrio notable de la balanza de pagos. Con el agravante en nuestro país, deficitario en puestos de trabajo, de no generar empleo.

Si no se desarrolla la industria fotovoltaica, se mantienen los actuales niveles tecnológicos, y se consigue una evolución de costes similar a la de otros países, dentro de unos años nos veremos obligados a importar tecnología y bienes de equipo, lo que aumentará aún más nuestra dependencia exterior.

En cuanto a los campos de aplicación donde la ESFV no es admitida como económicamente viable, hemos de señalar que la evaluación de costes que condena a las energías renovables al "estigma" de lo antieconómico se olvida de considerar toda una serie de factores que -incluidos en la tarifa energética- cambian radicalmente el análisis económico. Estos factores olvidados se incluyen dentro del denominado coste social, como el coste medioambiental y de salud, agotamiento de fuentes no renovables, efectos macroeconómicos y subsidios.

Un ejemplo claro es la energía nuclear, donde no son tenidos en cuenta -a la hora de valorar sus costes- el desmantelamiento de las centrales, el almacenamiento de los residuos, la contaminación radiactiva, el peligro de accidente, y los planes de evacuación de la población. Baste recordar que el accidente nuclear de Chernobil se ha llegado a valorar por analistas de EE.UU. en 30 billones de pesetas, es decir, el coste de construcción, mantenimiento, funcionamiento y desmantelamiento de 40 centrales de

1000 MW durante 20 años.

La perspectiva economicista de los costes de la ESFV tampoco tiene en cuenta que las directrices de la Unión Europea prevén la penalización de la producción de energía eléctrica que implique emisiones de CO₂, responsable del efecto invernadero y por tanto del cambio climático. Con lo cual la producción de energía eléctrica a partir del petróleo, carbón o gas natural, se verá seriamente gravada y limitada.

Frente a los costes de tipo económico, más o menos evaluables con una cantidad concreta de dinero, existen unos costes que a pesar de tener asignado un valor en \$/kWh, han de ser considerados desde otro punto de vista; El impacto a nivel personal de la producción o utilización de ciertas energías en la salud humana, las condiciones favorables que ciertas fuentes energéticas crean para mantener o beneficiar una posible guerra, la devastación de espacios naturales (útiles para el disfrute humano) relacionada con la obtención o utilización de algunas energías, la dependencia económica de unos países respecto a otros y sus consecuencias políticas, son varios ejemplos de factores que generan un coste psicológico difícil de precisar.

Es necesario señalar que la valoración de los "costes olvidados" resulta ser extraordinariamente subjetiva, llegando a encontrarse diferencias de ordenes de magnitud en las valoraciones de los costes por diferentes autores. Por tanto este sigue siendo un tema motivo de discusión.

Sin embargo, presentamos algunas estimaciones de los costes olvidados, dadas por Hohmeyer, autor que durante los últimos años ha venido analizando el tema de los costes externos en las energías renovables.

Una estimación del coste social de la producción de energía eléctrica con origen en la energía solar fotovoltaica, incluyendo el ahorro de costes sociales de generación de electricidad según el modelo actual (térmica, nuclear etc) para Alemania (Hohmeyer 1994), indica que el uso de ESFV para generar la energía eléctrica consumida y generada de un modo convencional, supondría un ahorro de 0.21 \$/kWh a 0.39 \$/kWh (en dólares del año 1992) en costes sociales. Restando este valor ahorrado al precio actual de la ESFV calculado de un modo convencional, se encuentra que el precio final de la ESFV es -con pequeña diferencia- más caro que el de la energía obtenida de la red eléctrica convencional.

Se espera que esta situación no se prolongue por mucho tiempo, pues al incluir los gastos sociales en el precio final de la ESFV, se estima que entre los años 1998 (para un ahorro en coste social de 0.39 \$/kWh) y 2006 (para un ahorro en coste social de 0.21 \$/kWh) la ESFV alcanzará el mismo precio que

	Energías fósiles	Fisión nuclear	Grandes centrales Hidráulicas	Solar fotovoltaica
Acceso ilimitado (renovable)	No	No	Si	Si
Reducción de CO2	No	Si	Si	Si
Conservación del terreno	No	No	No	Si
Peligro de grandes accidentes	Si	Si	Si	No
Reducción de costes administrativos	No	No	No	Si
Equilibrio en la balanza de pagos	No	Si	Si	Si
Reducción de conflictos internacionales	No	No	-	Si
Aceptación social	No	No	No	Si
Reducción del coste en los transportes públicos	No	No	Si	Si
Creación de nuevos puestos de trabajo	No	Si	No	Si
Impulso a las estructuras económicas descentralizadas	No	No	No	Si
Aumento de la independencia energética de los países industriales	No	Si	Si	Si
Aumento de la independencia energética de los países en desarrollo	No	No	Si	Si

Tabla 3: Comparación cualitativa de los beneficios conseguidos al utilizar diferentes fuentes de energía

la energía eléctrica obtenida de la red, con la particularidad de evitar, mediante el uso de ESFV, buena parte de las agresiones al medio ambiente, ahorrar combustibles fósiles etc.

Estos costes están calculados para el clima de Alemania. El cálculo para una zona con mayor nivel de insolación, como es el caso de España, reduce los costes de la ESFV, resultando competitiva en un lapso inferior de tiempo.

El peor escenario para la ESFV aparece si no consideramos los costes sociales, en cuyo caso se estima que la ESFV tendrá un precio similar a la energía obtenida de la red convencional en el año 2020. (Hohmeyer 1994).

En la tabla 3 se presenta una comparación cualitativa los beneficios conseguidos al utilizar diferentes fuentes de energía.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

LA PERSPECTIVA economicista de la ESFV oivida un hecho fundamental; el bajo impacto ambiental de esta tecnología al ser comparada con otras fuentes energéticas. Como señalamos en el apartado anterior, si a los costes estándar de otras fuentes energéticas, les sumamos los costes ambientales derivados y otros costes asociados, las diferencias económicas entre la ESFV y las energías convencionales tienden a desaparecer.

Vamos reseñar en este capítulo los efectos medioambientales de la ESFV, para poder comparar des-

pués esta fuente energética con las fuentes de energía convencionales. Como avance de los resultados de este análisis, podemos señalar que los impactos medioambientales de la ESFV son ecológicamente asumibles, supuesto un correcto tratamiento o almacenaje de residuos y una correcta gestión del resto de los impactos ambientales. La adecuada y exigible gestión de los impactos medioambientales de la ESFV, convierten a esta fuente energética en uno de los medios de obtención de energía menos agresivos con el medioambiente.

Impacto medioambiental de la producción de ESFV

La generación de electricidad mediante ESFV requiere la utilización de grandes superficies colectoras y por tanto de una cantidad considerable de materiales para su construcción. La extracción, producción y transporte de estos materiales son los procesos que suponen un mayor impacto ambiental.

La fabricación de un panel solar requiere también la utilización de materiales como aluminio (para los marcos), vidrio (como encapsulante), acero (para estructuras) etc, siendo estos componentes comunes con la industria convencional. El progresivo desarrollo de la tecnología de fabricación de estructuras y paneles solares supondrá una reducción del impacto ambiental debido a estos conceptos.

En la producción del panel solar se produce un gasto energético que genera residuos, como partículas de NO_x, SO₂, CO₂ etc. Esto se debe a que la energía utilizada en la fabricación del panel solar tiene su origen en la mezcla de fuentes energéticas convencionales del país de fabricación. Sin embargo, podemos afirmar que la emisión de estas sustancias debida a la fabricación de paneles solares es reducida, en comparación con la disminución en la emisión de sustancias de este tipo que supone la producción de electricidad por medios fotovoltaicos, en vez de con fuentes convencionales de energía. Un ejemplo de esto es que la producción de la misma cantidad de potencia hora por año en una moderna y eficiente central térmica de carbón, supone la emisión de mas de 20 veces el CO₂ que si la producción de la misma cantidad de energía se realizara mediante módulos de Si mono o policristalino fabricados en pequeña escala. La producción de electricidad mediante paneles solares de Si mono o policristalino fabricados en gran escala, disminuye aún más la emisión de CO₂, llegándose a reducir hasta cerca de 200 veces la cantidad de CO₂ emitida respecto a una central térmica de carbón. La proporción de entre 100 y 200 veces menos cantidad de residuos se mantiene favorable a la ESFV cuando se analizan las emisiones de NO_x, SO₂ producidas por una central térmica de carbón.

La obtención de silicio de grado metalúrgico es requerida en grandes cantidades para la industria del acero, siendo una pequeña proporción de este material la dedicada a la industria de semiconductores, que incluye la fabricación de las obleas de silicio. La emisión de polvo de sílice es uno de los inconvenientes de esta industria. La purificación del silicio implica el uso de materiales tales xilano, mientras el dopado precisa utilizar pequeñas cantidades de compuestos tóxicos, tales como diborano y fosfina.

También se precisa utilizar agentes agresivos, tales como el ácido sulfúrico. Todos estos compuestos y procesos son utilizados en la industria metalúrgica y electrónica no constituyendo, por tanto, un nuevo factor a considerar. *En la futura producción masiva de células solares, deberá estar contemplado un correcto tratamiento de los residuos, tarea asumible al ser conocidos y estar implementados estos métodos para grandes producciones en industrias similares a la de producción de células, como las industrias electrónicas.*

Para el caso de las células con CdS y CdTe, se estima que se precisan menos de 200 kg de compuestos de Cadmio para producir 2 MW anuales de células solares de esta tecnología. A efectos de comparación, hay que considerar que la producción mundial de Cd se sitúa en 20000 TM, teniendo por tanto la producción de células solares de esta tecnología un impacto ambiental muy reducido. Como comparación podemos señalar que mientras las pilas de NiCd están constituidas por un 15% de su peso en Cd, 1 kW de paneles solares (de tecnología Apollo) contendrá 80 g de Cd en forma de CdS y CdTe (nunca de Cd puro), es decir menos de un 0,1% en peso. Al final de la vida útil de estos módulos, se plantea la posibilidad del vertido en depósitos controlados pues, según normas de los USA y de la CE, estos paneles serían considerados como un residuo no peligroso. *Sin embargo resulta aconsejable implementar los procesos de reciclado ya plenamente identificados, aunque no puestos en práctica.* Otra tecnología de lámina delgada, denominada de células CIS supone un contenido aún menor de Cd que en las células de CdTe, reduciendo su contenido en dos ordenes de magnitud respecto a estas.

Otros impactos ambientales de esta fuente energética están relacionados con las infraestructuras necesarias para la operación de la ESFV. Quizás el factor más conocido y esgrimido contra la ESFV es la ocupación de espacio por parte de los paneles solares no integrados en la arquitectura. Hay que añadir también la ocupación de terreno debido a carreteras, líneas de transmisión instalaciones de acondicionamiento y almacenamiento de energía, subestaciones etc. Estos factores afectarían, esencialmente a las grandes centrales FV.

Finalmente se puede señalar la existencia de fuentes contaminantes relacionadas con la producción de ESFV aunque no sean debidas a la producción de paneles solares. Esta contaminación proviene de la fabricación de equipos tales como inversores, reguladores, estructuras de soporte, cables y especialmente acumuladores. Algunos de estos sistemas están presentes, necesariamente, en todas las instalaciones de ESFV, haciendo así depender el análisis del, tipo de instalación considerada.

ESFV y Energía Convencional

El impacto medioambiental de las fuentes de energía incluye factores como daños a los bosques por lluvia ácida, contaminación y calentamiento del planeta por efecto invernadero, el impacto sobre la salud humana, animal y vegetal debido a accidentes nucleares o vertidos y escapes de sustancias peligrosas etc. *El peso global de estos costes es más alto en las energías convencionales que en las energías renovables.*

Uno de los principales argumentos esgrimidos en contra de la ESFV es la cantidad de suelo ocupado por sus instalaciones. Sin embargo, este argumento no es un inconveniente real para la implantación de este tipo de energía. La consideración de todos los factores que contribuyen a la ocupación del suelo (minería, construcciones, etc), sitúan, en este aspecto a la ESFV en un lugar parecido al de las centrales térmicas e incluso en un mejor lugar que a algunas de las tecnologías actuales para la obtención de energía.

Esta crítica surge de valoraciones interesadas, que no tienen en cuenta todos los factores implicados en la ocupación y destrucción de terrenos para la producción de energía por métodos convencionales. Como ejemplo de la proporción de terreno ocupada por la ESFV, podemos señalar que una planta fotovoltaica ocupa el mismo espacio por kWh producido que el embalse de Iguazu (a pesar de ser este uno de los embalses más compactos del mundo) y bastante menos que los embalses españoles. La ESFV también precisa una menor cantidad de terreno por kWh que las centrales de producción eléctrica por biomasa.

En la tabla 4 se presenta la cantidad de suelo ocupado (en m²) por las instalaciones de diferentes tecnologías energéticas para la producción de 1 Gwh de energía durante 30 años. Si bien la ESFV precisa una cantidad de suelo mayor que otras energías renovables, ahorra espacio en comparación con los centrales de producción energética mediante carbón.

La degradación del suelo y la polución del agua son consecuencia, en parte, del uso extensivo de energías de origen químico y orgánico. Un mayor uso de energías alternativas reduciría esta agresión al medioambiente por parte de las energías convencionales.

La desertización tiene su origen en la sobreexplotación de la vegetación para satisfacer las necesidades de alimento y de combustible, en ausencia de otras fuentes de energía. Esta situación, observable especialmente en países en vías de desarrollo, sería paliada por el uso de energías alternativas.

Tecnología	Espacio (m ² /GWh en 30 años)
Carbón	3642
Térmica Solar	3561
Fotovoltaica	3237
Eólica	1335
Geotérmica	404

Tabla 4: Cantidad de suelo ocupado (en m²) por una instalación productora de 1 Gwh de energía durante 30 años para varias tecnologías.

El consumo de agua necesario para la operatividad de una instalación de ESFV resulta ser el más bajo en comparación con cualquier otro tipo de instalación de producción energética (sólo se precisa agua durante los procesos de producción de los componentes de los sistemas fotovoltaicos). Este punto es particularmente importante para nuestro país, que sufre sucesivos episodios de sequía.

Los avances industriales en la fabricación de paneles solares se dirigen en el sentido de reducir pérdidas de material al cortar las obleas para la fabricación de células solares. Este ahorro de material supone, además de un beneficio económico, disminuir la emisión de contaminantes generados por la producción de la energía necesaria para fabricar las obleas. Asimismo, la progresiva fabricación de volúmenes más importantes de paneles solares, reduce proporcionalmente la inversión energética necesaria.

Una nueva perspectiva para el ahorro energético y de material en la fabricación de paneles solares se abre con la introducción de paneles solares sin marco de aluminio. Como consecuencia de ello, están siendo desarrollados nuevos conceptos de fijado a las estructuras de soporte, como por ejemplo el pegado de los paneles solares.

La optimización de las estructuras de soporte ha de conducir a la reducción de la inversión energética y de material en la fabricación de sistemas fotovoltaicos.

En conclusión, *la ESFV resulta ser, al contrario que la mayoría de las energías convencionales, prácticamente inocua durante la fase de explotación. Durante la fase de fabricación ha de exigirse la correspondiente implementación de los métodos de control, almacenamiento o reciclado de residuos.*

Para terminar, en la tabla 5 se presenta un análisis cualitativo de la importancia de los impactos medioambientales debidos a diferentes tecnologías de generación energética convencional y mediante ESFV. Se observa como los efectos medioambientales debidos a la ESFV son considerablemente menores que los originados por las fuentes energéticas convencionales.

	Carbón	Petróleo	Gas natural	Nuclear	ESFV
Contaminantes ácidos (SO ₂ , NO _x etc)	5	4	2	2	1
CO ₂	5	5	5	2	1
CH ₄	3	2	4	1	1
Partículas	3	3	1	1	2
Metales pesados	3	2	1	1	2
Almacenamiento de residuos	3	2	1	4	2
Catástrofes	2	3	3	5	1
Intrusión visual	3	4	4	3	2
Ruido	2	1	1	1	1
Terreno ocupado	4	2	2	2	2
Seguridad y salud humana	3	3	2	3	1

Clave de efectos: 1. Despreciable, 2. Despreciable/Significativo, 3. Significativo, 4. Significativo/Grande, 5. Grande.

Tabla 5: Análisis cualitativo de los efectos medioambientales para diferentes tecnologías de producción energética, incluyendo la ESFV.

PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

CONSIDERAMOS que existe un enorme interés social en que nuestro país alcance, en el horizonte del año 2.000, uno de los primeros puestos en el aprovechamiento de la ESFV a nivel mundial, tanto por la potencia instalada como por la oferta de tecnología y equipamiento que se esté en condiciones de suministrar a otros países. Para alcanzar este logro se ha de procurar el abaratamiento de los costes actuales de producción y el mantenimiento de nuestra tecnología dentro de las tendencias mundiales más avanzadas.

Dada la capacidad de producción de las empresas establecidas en España, el potencial de irradiación media anual en nuestro país y el crecimiento anual del mercado mundial fotovoltaico (35% para paneles solares de Si-policristalino), resulta razonable asumir un crecimiento anual de la potencia instalada superior, incluso, al crecimiento del mercado mundial. Esto tendría como consecuencia una aceleración en el estado español del desarrollo tecnológico de la ESFV, el abaratamiento de costes, la creación de puestos de trabajo, la reducción de la dependencia energética, la utilización de una fuente energética comparativamente limpia etc.

En tal sentido, y como primera decisión; resulta indispensable la corrección del PAEE para que la potencia nominal, a tener instalada en el año 2.000, sea del orden de los 45 MW, en lugar de los 5,6 MW previstos en la actualidad. Dicha potencia, estaría en

el rango de las previsiones de otros países.

En la tabla 6 se presenta un desglose de la contribución estatal mínima para impulsar algunas actuaciones básicas. A efectos de comparación, señalemos que el coste estimado para la gestión de los residuos de las centrales nucleares sólo para el año 1991 alcanzó 24387 Mpts. Sería también indispensable la contribución económica de agentes privados, tales como compañías eléctricas, para poder alcanzar el objetivo propuesto de tener instalados 45 MW fotovoltaicos en el año 2000. No olvidemos que en los EEUU la contribución privada a la ESFV dobla a la contribución estatal. Por tanto, para conseguir alcanzar este objetivo, proponemos una decidida actuación de los organismos estatales y privados en sus respectivas áreas de influencia. Estas áreas de influencia son cubiertas por el estado central, las comunidades autónomas, los ayuntamientos y los agentes privados, con especial atención en las compañías eléctricas.

Actuación estatal

1. El programa de I+D ha de cubrir los siguientes aspectos:

Silicio Cristalino.

- Materias primas y cristalización: Son necesarias grandes inversiones para desarrollar

material de grado solar en la industria química e independizar el suministro de materias primas de la industria electrónica.

- Preparación y corte de obleas con menores costes.
- Tecnologías de producción de células para una mayor eficiencia y unos menores costes de producción.
- Técnicas de producción y montaje de módulos a bajo coste.
- Ingeniería de procesos para técnicas de producción en masa.

Silicio amorfo.

- Aumento de la eficiencia estabilizada.
- Automatización de la producción.
- Simplificación de los equipos.
- Ingeniería de módulos para integración en tejados.

CuInSe₂ y CdTe

- Eficiencia de procesos para conseguir alta eficiencia, alto ritmo de crecimiento y alto ritmo de producción.
- Transferencia de la investigación a la producción piloto.
- Investigación en materiales y estructuras nuevas.

Materiales y dispositivos novedosos.

- Hay un amplio conjunto de estructuras y materiales semiconductores que deberían ser investigados. Un ejemplo es la necesidad de desarrollar y mejorar las células "tandem" y los dispositivos de concentración.

"Balance of Systems".

- Inversores: Miniaturización de componentes, mejora de la integración, desarrollo de modularidad, alta eficiencia y bajo coste, alta fiabilidad, conexión a la red y seguridad.
- Almacenamiento: Hay una necesidad urgente de desarrollar un esfuerzo global en dispositivos de almacenamiento, incluyendo sistemas electroquímicos, sistemas relacionados con el Hidrógeno y otros.
- Cableado, estructuras de soporte, integración en edificios, desarrollo de sistemas de fácil manejo.
- Diseño y dimensionado de los subsistemas, con especial atención a los subsistemas luminoso y de bombeo.

Sistemas Híbridos.

Ha de analizarse la posibilidad de combinar en un mismo sistema varios tipos de energías alter-

nativas. Una combinación posible es la de la ESFV y los generadores eólicos. Estas combinaciones elevan la fiabilidad del sistema, a un coste reducido.

Inversores de centrales conectadas a red.

Ha de llevarse a cabo una mejora substancial de los inversores de centrales conectadas a red, especialmente en el sentido de aumentar su fiabilidad y reducir la producción de armónicos.

Desarrollo de paneles solares con células de concentración

Disminución del coste del Wp en módulos convencionales.

Integración de la ESFV en la arquitectura.

Investigación y desarrollo de centrales fotovoltaicas, en todos sus aspectos (optimización de módulos de gran tamaño, inversores apropiados, combinación con otras fuentes de energía, etc). Puesta en práctica de un programa de demostración que implique un mayor conocimiento social de las posibilidades de la ESFV.

2. Introducción de una rama de técnico e instalador de ESFV entre las especialidades de formación profesional.
3. Creación de una normativa de normalización y homologación de equipos, poniendo especial atención en los subsistemas más delicados (iluminación, inversores etc). Esta normativa debería incluir el cálculo y dimensionado del sistema fotovoltaico y de los subsistemas que lo componen.
4. Establecimiento de incentivos fiscales para las instalaciones fotovoltaicas situadas en lugares donde existe red eléctrica convencional.

En la tabla 6, se presenta una propuesta de las inversiones mínimas necesarias para cubrir algunos aspectos de las propuestas presentadas. Estos fondos se orientan especialmente a financiar las actuaciones que hemos incluido dentro del campo de acción estatal, aunque los fondos puedan tener su origen en otras entidades.

Acciones Autonómicas

1. Establecer la obligatoriedad de que en todas las instalaciones publicas se integren sistemas dotados con ESFV, alcanzando al menos un 1% de la energía consumida por la instalación. Esta propuesta tiene como finalidad el conocimiento y difusión social de la ESFV.
2. Financiación a un interés máximo del 5% de cualquier tipo de instalación fotovoltaico no subvencionada estatalmente.

3. Exigencia a los instaladores de un contrato de mantenimiento de los subsistemas durante 3 años, con especial atención en los subsistemas de iluminación y bombeo.
4. Dictado de recomendaciones urbanísticas de aplicación en los municipios para favorecer la incorporación de paneles solares a las viviendas. Especial atención sería puesta en la inclinación y equipamiento de los tejados.

Actuaciones Municipales

1. Establecimiento de subvenciones para las instalaciones fotovoltaico en lugares donde la red eléctrica sea de acceso difícil, costoso o ecológicamente inapropiado.
En el caso de viviendas estables refugios de montaña y similares, las subvenciones podrían alcanzar hasta el 100% del valor de la instalación, según la situación económica del usuario,

las necesidades cubiertas por la instalación etc. Para granjas o instalaciones donde la utilización de la energía tenga una finalidad indirectamente comercial, las subvenciones podrían alcanzar un 60% del valor total. Si la instalación tiene como finalidad el uso industrial de la energía, la subvención podría alcanzar un 30% del valor total.

2. Establecer la obligatoriedad de que en todas las instalaciones públicas se integren sistemas dotados con ESFV. Esta propuesta tiene como finalidad el conocimiento y difusión social de la ESFV.
3. Autorizar como máximo cuatro alturas en las nuevas edificaciones, para garantizar así una mayor proporción de área útil para instalaciones fotovoltaica por vecino.
4. Salvaguardar el derecho al Sol de unos edificios respecto a otros.
5. Favorecer la construcción de tejados planos.

CONCEPTO	INVERSION (Mpta)
<i>Investigación básica</i>	
1. Tecnología Si policristalino	600
2. Tecnología lámina delgada	900
3. Tecnología Si cristalino	600
4. Tecnología concentración	700
<i>Grandes centrales</i>	
1. Desarrollo inversores de más de 0.5 MW	700
2. Demostración centrales paneles planos	5.000
3. Demostración centrales paneles concentración	1.000
<i>Desarrollo del BOS/Otros</i>	
1. Desarrollo BOS en edificios (I+D+demostración)	3.000
2. Formación profesionales y desarrollo de normativa	500
3. Electrificación FV en edificios conectados a red	7.000
4. Electrificación FV en países en desarrollo	2.000
Total 22.000 Mpta	

Tabla 6: Propuesta de financiación para algunos proyectos fotovoltaicos entre 1995 y 1999. La unidad es Mpta.

BIBLIOGRAFIA

Photovoltaic Engineering Handbook. France Lasnier, Tony Gan Ang. Editorial Adam Hilger 1990.

Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica. CIEMAT 1992.

Solar electricity. Edited by Tomas Markvart. John Wiley & Sons.

Photovoltaic commercial modules: which product for what market?, Alain Ricaud, 12th EPSEC, Amsterdam 1994.

Plan energético nacional 1991-2000 Ministerio de industria, comercio y turismo. Secretaría general de la energía y recursos minerales.

Energías renovables en España: Anuario de proyectos 1993. IDAE.

The world PV market: 1993 status report and future prospects. R. Barlow, A. Derrick, J. A. Gregory, 12 th EPSEC, Amsterdam 1994.

International Photovoltaic Programmes, Roberto Vigotti. 12 th EPSEC, Amsterdam 1994.

The future of photovoltaics and the probable costs of climate change in the context of a sustainable world, Olav Hohmeyer, 12 th EPSEC, Amsterdam 1994.

Consideraciones sobre efectos ambientales debidos a la utilización a gran escala de la Energia Solar Fotovoltaica, L.M.Cotoruelo, E Navas. Era Solar n°52.

Health, safety and environmental aspects of the use of cadmiunds compounds in thin film PV modules. M.H.Patterson, A.K.Turner, M.Sadeghi, R.J. Marshall. Solar Energy Materials and Solar Cells 35 (1994).

Economic assesment of the contribution of photovoltaic systems to CO2 reduction. J.R. Ybema, R.T.M. Smokers, P.A. Okken, 12 th EPSEC, Amsterdam 1994.

Photovoltaic, utilities and the environment in the 21st century. G. Darkazalli. 10 th EPSEC, Lisbon 1991.

The socio-economic Benefits of Solar Energy. Hermann Scheer. The Yearbook of Renewable Energies, EURO-SOLAR 1994.

