

Situación de la industria y tecnología fotovoltaica españolas

Promueve



Financia



ÍNDICE

	pág.
ÍNDICE	ii
ÍNDICE de FIGURAS.....	iv
FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA: MUCHO MÁS QUE SOL.....	1
1. Cristalino como el ... Silicio	3
2. Capacidades españolas en silicio cristalino	7
3. Algunos resultados recientes	9
4. La electricidad que llega al enchufe.....	11
5. España, potencia en sistemas fotovoltaicos.....	15
6. Principales hitos y resultados en España	18
7. Cuanto más delgado mejor	21
8. Capacidades en España en lámina delgada	26
9. Hitos y resultados de los grupos españoles	28
10. Fotovoltaica viva: La tecnología orgánica	29
11. Más luz, más luz: La concentración fotovoltaica	32
12. Capacidades en España de fotovoltaica de concentración	35
13. Hitos y resultados de los grupos españoles	37

14. España, potencia fotovoltaica.....	39
---	-----------

ÍNDICE de FIGURAS

	pág.
Figura 1. Medidas de caracterización de células solares de silicio. Cortesía de Tecnalía.....	4
Figura 2. Proceso de crecimiento de un lingote monocristalino. Cortesía de CENTESIL.....	5
Figura 3. Estrategia de integración de plasmones y puntos cuánticos en una célula de contactos posteriores, que ha permitido alcanzar hasta la fecha una eficiencia del 19,7%. Cortesía de NTC Valencia.	10
Figura 4. Medidas de funcionamiento de un conjunto de paneles con seguidor solar. Cortesía del Instituto de Energía Solar.....	13
Figura 5. Instalación fotovoltaica la sede del CENER en Sarriguren. Cortesía de CENER.	16
Figura 6. Diseños electrónicos para BoS. Cortesía de Tecnalía.	20
Figura 7. Evolución de la producción mundial de módulos de lámina delgada y cuota de mercado de estas tecnologías frente al conjunto de la producción fotovoltaica. Fuente: PC's Solar Photovoltaics Blog, mayo 2013.....	22
Figura 8. Curvas de aprendizaje del conjunto de las tecnologías fotovoltaicas y de las de lámina delgada (fuertemente determinadas por la de CdTe). Fuente Fraunhofer ISE Photovoltaic Report Nov. 7, 2013.....	23
Figura 9. fotovoltaico de lámina delgada integrado en edificio. Fuente AmpleSun.....	24
Figura 10. Una cubierta industrial convertida en sistema fotovoltaico mediante módulos flexibles de lámina delgada, fabricados en rollo.	25
Figura 11. Un módulo prototipo de laboratorio de silicio amorfo desarrollado íntegramente en la Unidad de Energía Solar Fotovoltaica del CIEMAT. Cortesía del CIEMAT.....	27
Figura 12. Detalle de la fachada translúcida del centro de convenciones de Lausana (Suiza) con un total de 355 paneles y una producción estimada de 2000 kWh/año. Fotografía cedida por Solaronix.	30

Figura 13. Módulos de Heliatek GmbH transparentes fabricados con moléculas orgánicas pequeñas. Fotografía cedida por Heliatek GmbH.....	30
Figura 14. Célula solar multi-unión de muy alta eficiencia en concentración (cortesía de Instituto de Energía Solar).....	33
Figura 15. Prueba en funcionamiento real de tecnologías de concentración. Cortesía de ISFOC.....	36

FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA: MUCHO MÁS QUE SOL

¿España, país de sol y playa? Es irónico que sea precisamente en el sector del aprovechamiento de la energía solar donde España rompe con el tópico, al menos en lo que al sol se refiere... porque decididamente, en energía solar (y en particular en energía solar fotovoltaica), España es mucho más que sol.

Y ha sido mucho más que sol desde los inicios de la tecnología, pues nuestro país ha jugado un papel relevante a nivel mundial en su desarrollo. España fue de los primeros países en desarrollar una industria de células solares y módulos fotovoltaicos, compitiendo en volumen durante muchos años con países como Japón, Alemania o Estados Unidos. Nuestro país ha sido de los pioneros en la propuesta y desarrollo de la tecnología de concentración fotovoltaica, desde la investigación básica hasta la demostración a escala industrial. Y fue en España, durante el tan denostado boom de instalaciones fotovoltaicas de 2007-2008, donde se desarrolló todo el potencial de las grandes instalaciones sobre suelo (los bautizados como “huertos solares”), vía por la que otros países (Alemania, sin ir más lejos) se apresuraron a transitar posteriormente. A finales de la década pasada, España tenía un entramado industrial como pocos países en el mundo, cubriendo prácticamente toda la cadena de valor, del material semiconductor al sistema fotovoltaico, y con presencia del más amplio abanico de alternativas tecnológicas.

Desgraciadamente, toda esta potencia tecnológica se ha visto bruscamente bloqueada, debido a una mezcla de factores: el colapso del mercado interior, la política de venta por debajo de coste (dumping) practicada por China, combinada con la ausencia de una política española (y europea) de protección de la industria local, y también de forma importante las resistencias de las grandes empresas eléctricas de nuestro país al cambio de modelo energético, resistencias que se han traducido en una legislación nada favorable al desarrollo de las energías limpias, y en una continua

campaña de desinformación que pretende trasladar a la opinión pública el mensaje de que “la energía solar fotovoltaica es cara”.

No, la energía solar fotovoltaica ya no es cara. En los últimos años ha llevado a cabo un importante esfuerzo de reducción de costes, y está preparada para abundar en ese esfuerzo y alcanzar la situación de rentabilidad. De hecho, diversos estudios concluyen que hoy en día ya es competitiva en algunos países (entre ellos España, si la regulación lo facilitara), y que si se dieran las condiciones normativas y de mercado apropiadas, lo sería en toda Europa de aquí al 2020. Así que como resultado de la mencionada reducción de costes, la fotovoltaica podrá convertirse en la mayor fuente de generación eléctrica en el futuro.

Además de las condiciones de mercado, es necesario un continuo esfuerzo en I+D para que la tecnología fotovoltaica siga evolucionando. Esta I+D será siempre más efectiva si se realiza de forma coordinada y conjunta, consiguiendo suficiente masa crítica en temas bien seleccionados, concretos, que supongan grandes avances para el posicionamiento y competitividad del sector.

Un esfuerzo en I+D en el que España continúa participando activamente, y en el que nuestras empresas y nuestros centros de investigación y universidades hacen contribuciones relevantes, en un amplio abanico de ámbitos y tecnologías. Brevemente, repasamos en las próximas páginas los más relevantes.

1. Cristalino como el ... Silicio

-La realidad del sector del silicio cristalino

El abaratamiento de la energía solar fotovoltaica experimentado en los últimos años ha venido, en parte, de la mano de la tecnología de silicio cristalino, lo cual ha cogido por sorpresa incluso a los “creyentes” en la misma, que se fijaban como reto el coste de un euro por vatio(1) para el medio plazo. Y no se ha debido sólo a la agresiva estrategia de venta por debajo de coste de los productores asiáticos, sino que ha habido una espectacular reducción de costes, asociada a la producción a gran escala y a haber conseguido transferir a la industria conceptos ya validados experimentalmente en laboratorio hace años o décadas: emisores más resistivos, contactos más estrechos, emisores selectivos, superficie posterior pasivada mediante dieléctricos... No hay que perder de vista que el récord absoluto de eficiencia para una célula de silicio a un sol (25%, con tecnología de laboratorio) data de mediados de los noventa, época en la que una célula industrial buena no superaba el 15%. Hoy en día, las células industriales de silicio multicristalino alcanzan el 17%-18%, y las monocristalinas se acercan al 20%, y eso sin contar con las tecnologías más eficientes (la que pasiva el silicio mediante heterouniones con silicio amorfo y la que pone en la parte de atrás tanto los contactos negativos como positivos), que ya superan el 23% y se acercan al récord de laboratorio. Y las mejoras son tan vertiginosas que los valores referenciados pueden quedar rápidamente obsoletos pasados unos meses de la redacción de estas líneas.

(1) El euro por vatio, representado €/Wp, es la cifra de mérito usada habitualmente para evaluar una tecnología fotovoltaica, y que indica el coste por unidad de potencia eléctrica generada.



Figura 1. Medidas de caracterización de células solares de silicio. Cortesía de Tecnalia

Conviene tener presente que la reducción de costes no ha venido sólo motivada por los avances en la tecnología de fabricación de las células solares, sino que ha sido resultado también de mejoras sustanciales en el resto de eslabones de la cadena de valor del silicio cristalino: la purificación de silicio, el crecimiento de lingotes y corte en obleas, y también el módulo fotovoltaico.

El mercado del silicio ultrapurificado (el llamado “polisilicio”) ha experimentado una auténtica revolución, impulsada por la fotovoltaica al reemplazar a la microelectrónica como principal cliente. Más allá de situaciones coyunturales de desabastecimiento primero y sobrecapacidad después, el resultado ha sido una drástica reducción de costes en el proceso convencional a menos de la mitad. A pesar de su larga historia, se trataba de una tecnología con un gran margen de mejora, aspecto que no se puso de manifiesto antes por ser una industria residual para la microelectrónica. Estos costes tan bajos han reducido la urgencia de encontrar vías alternativas de purificación, pero dadas las perspectivas de crecimiento de la fotovoltaica a medio y largo plazo, no las hace innecesarias. Propuestas

como las del depósito en fase vapor en reactores de lecho fluidizado o la denominada “purificación por vía metalúrgica” son en este sentido las que más se han acercado hasta ahora a la producción industrial.

En la fabricación de lingotes, tanto monocristalinos como multicristalinos, también ha habido enormes mejoras de productividad, derivadas del aumento del tamaño de los mismos, lo cual ha ido acompañado de una mejora en la calidad del material por un control más exhaustivo de defectos e impurezas. Aquí también dichas mejoras en los procesos convencionales han ralentizado el desarrollo de prometedoras alternativas, como las del crecimiento directo en obleas (tecnologías en lámina o “ribbon”), que han sido barridas del mercado y enviadas de nuevo al laboratorio y a la planta piloto, o la del crecimiento de lingotes por colada con semillas monocristalinas (el llamado “mono-like”).



Figura 2. Proceso de crecimiento de un lingote monocristalino. Cortesía de CENTESIL

Coincidiendo con los años de desabastecimiento de silicio (2006-2007), se vivió una presión para reducir el espesor de las obleas de 300 micrómetros al rango de los 200, lo cual se hizo con éxito sin perjudicar la supervivencia de las mismas en las líneas de producción, como muchos temían. Lo cierto es que una vez desaparecida la presión por reducir el espesor éste se ha estancado, a pesar del potencial de trabajar con obleas ultradelgadas.

Es quizás en el paso del encapsulado de los módulos donde la tecnología ha evolucionado más lentamente, y las mejoras han venido de la mano de la

automatización, más que de incorporar innovaciones en las que se trabaja, tales como las de sustituir las soldaduras por pastas conductoras adhesivas o encontrar materiales alternativos al EVA y al tedlar.

Quizá, viendo esta evolución reciente pudiera pensarse que el silicio cristalino está llegando a su límite, pero todavía puede deparar sorpresas que reduzcan aún más su coste:

- De la misma forma que se ha dado un salto en eficiencia del rango del 15% al 20% en los últimos años, hay que trabajar para alcanzar el rango del 25%. Algunas tecnologías están ya muy cerca, como se ha comentado, pero las estructuras más convencionales pueden conseguirlo con mejoras en la pasivación de superficies, uso de tecnologías de metalización alternativas a la serigrafía, maximización del atrapamiento de luz, etc.

- Se abre también una vía de superación del límite de eficiencia del silicio cristalino si se combina con otras tecnologías, formando células tándem, por ejemplo con capas delgadas de CdTe o CIGS, o con semiconductores III-V de la familia del GaAs.

- Estas mejoras en el proceso de las células solares se beneficiarán del uso de obleas mucho más delgadas, si se afrontan los retos que implica manejar espesores por debajo de 100 micrómetros, y de la obtención de silicio purificado por vías que conjuguen alta calidad del material con bajo coste.

- El módulo fotovoltaico ha de evolucionar en la misma dirección, tanto en lo que se refiere a los materiales que lo integran como a la filosofía de conexión de las células (por ejemplo, integrando en el plástico encapsulador pistas metálicas a las que soldar o pegar las células).

En resumen, el panorama dibujado muestra que el silicio cristalino tiene razones para seguir siendo protagonista del despliegue masivo de la energía solar fotovoltaica, que cada vez está más cerca.

2. Capacidades españolas en silicio cristalino

España ha sido uno de los pocos países que han llegado a cubrir industrialmente toda la cadena del silicio cristalino, desde el silicio metalúrgico hasta el ensamblado de módulos (quizás habría que matizar que en el caso de la purificación de silicio no se dio realmente el salto a la producción industrial, aunque sí se pusieron en marcha una serie de iniciativas, de las que sobreviven en la actualidad algunas en escala de planta piloto).

Además, es un sector en el que existe una gran imbricación entre industria y centros de investigación. Desde sus inicios (no hay más que recordar que Isofotón, la empresa de fabricación de células y módulos con más historia en España, surgió del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid a principios de los años ochenta) a la actualidad, en la que se acometen multitud de proyectos de investigación conjuntos, y muchos doctores salidos de centros españoles han formado parte de los departamentos de I+D de las empresas del sector.

España cuenta con el principal productor mundial de silicio metalúrgico, Ferroatlántica, y en el momento más álgido del fotovoltaico en nuestro país (finales de la década del 2000) había en España dos productores de lingotes y obleas, cuatro productores de células solares y una quincena de ensambladores de módulos. Desgraciadamente, esta potencia industrial se ha visto truncada cuando aún era incipiente, y no ha podido sobrevivir a la falta de mercado español y a la competencia asiática, como ya se ha comentado. Prácticamente la totalidad de las empresas dedicadas al fotovoltaico han parado su fábrica, entrado en concurso de acreedores o afrontado la liquidación. Hay que decir que en esto sí somos europeos, pues desgraciadamente esta ha sido también la tónica de la mayor parte de las empresas fotovoltaicas europeas.

Una de las causas de este declive industrial se encuentra en que el propio objetivo de coste (1 €/Wp), una vez alcanzado y superado, ha demostrado no ser suficiente para competir en el mercado, y debemos trabajar para

establecer un nuevo valor más agresivo. Para abordarlo, lo que sí se mantiene es una I+D de primera línea, en la que contamos con importantes infraestructuras de investigación en toda la cadena de valor:

-infraestructuras de purificación de silicio, tanto por vía convencional avanzada como por vía metalúrgica, y también infraestructuras de crecimiento de monocristales y multicristales, en ambos casos con desarrollado de tecnología propia;

-infraestructuras para la fabricación de células solares y módulos, cubriendo multitud de opciones tecnológicas, de la célula convencional a las pasivadas con heterounión o de contactos posteriores, y disfrutando de un amplio abanico de tecnologías: hornos de difusión y hornos de cinta, reactores de depósito en fase vapor, equipos de serigrafía, evaporación en vacío, baños químicos, ataque con plasma, etc.;

-además de técnicas de caracterización de obleas, células y módulos, de las más sencillas y convencionales a las más sofisticadas, con laboratorios de referencia internacional en el ensayo de todo tipo de componentes fotovoltaicos.

No menos importantes son las capacidades humanas, derivadas de la formación de personal en universidades y centros de investigación, a través de másteres y doctorados, y de la experiencia adquirida en las fábricas anteriormente mencionadas.

Todo ello hace de nuestro país un agente relevante en el desarrollo de la tecnología de silicio cristalino.

3. Algunos resultados recientes

En la actualidad existen una decena de grupos de investigación en nuestro país trabajando en alguno de los eslabones de la cadena del silicio cristalino. Con una producción científica anual de una veintena de publicaciones y algunas patentes y productos transferidos a la industria, se cubren aspectos que van desde la investigación muy cercana a la industria hasta la propuesta de conceptos novedosos que miran al largo plazo. Sin afán de exhaustividad, podemos señalar algunos ejemplos recientes:

- Desarrollo del silicio de calidad solar CS Silicon™, purificado por vía metalúrgica, y que ha sido procesado en lingotes, obleas, células y módulos, alcanzando eficiencias similares a las del silicio purificado por vía convencional.

- Reducción de un 40% en las pérdidas por radiación en un reactor Siemens mediante el uso de escudos térmicos.

- Desarrollo y transferencia a la industria de tecnología de texturado alcalino con muy bajo contenido en alcohol.

- Propuesta de nuevos encapsulantes basados en EVA con propiedades fotoluminiscentes.

- Realización de emisores y contactos óhmicos mediante tratamientos láser sobre capas pasivantes de carburo de silicio y alúmina.

- Desarrollo de células de heterounión de silicio de bajo coste, con eficiencias que hasta el momento rozan el 18%, combinando emisores de lámina delgada y contactos posteriores con tratamiento láser.

- Integración de nanopartículas metálicas y efectos de traslación espectral de puntos cuánticos de silicio en células solares de contactos posteriores (ver Figura 3).

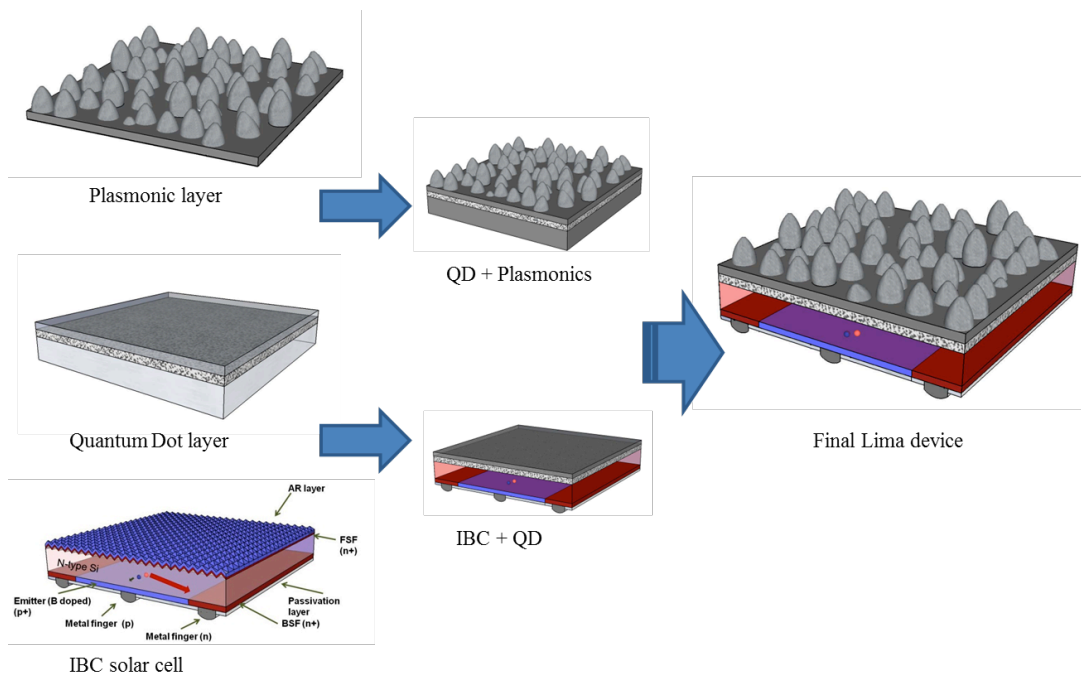


Figura 3. Estrategia de integración de plasmones y puntos cuánticos en una célula de contactos posteriores, que ha permitido alcanzar hasta la fecha una eficiencia del 19,7%. Cortesía de NTC Valencia.

-Desarrollo de células solares basadas en esferas micrométricas de silicio capaces de captar y transformar la radiación infrarroja.

Hay que concluir que, a pesar del adverso contexto industrial español, España continúa haciendo aportaciones relevantes a la tecnología de silicio cristalino.

4. La electricidad que llega al enchufe

Los sistemas fotovoltaicos y sus retos

Muchos de los esfuerzos estos últimos años se han centrado en el desarrollo de tecnología de célula siguiendo los dos pilares coincidentes con toda tecnología, alta eficiencia y bajo coste. Sin embargo, los componentes del llamado Balance del Sistema (BoS, Balance of System), es decir, todo aquello en un sistema fotovoltaico que no es el módulo, representan también una parte muy importante del sistema fotovoltaico, y por tanto, la reducción de su coste y la mejora de sus prestaciones en general son también muy importantes para el desarrollo de la industria fotovoltaica. Se puede afirmar sin temor a equivocarse que no todo en fotovoltaica es la tecnología de célula, y ha llegado el momento de afrontar también otras partes del sistema, también importantes, sobre todo si se tienen en cuenta datos como el que publica NREL en "Benchmarking Non-Hardware Balance-of-System (Soft) Costs for U.S. Photovoltaic Systems, Using a Bottom-up Approach and Installer," en la que concluye que los "soft costs" (BOS que no son el equipamiento propiamente dicho) representan el mayor porcentaje de los costes de instalación de los sistemas fotovoltaicos en Estados Unidos.

El objetivo, también cuando se habla de "sistemas", es reducir los costes de fabricación, aumentando su fiabilidad. Se investiga y se investigará en nuevos componentes (optimizadores, microinversores, nuevas tecnologías de almacenamiento desarrolladas para fotovoltaica, componentes para aumentar la seguridad, etc.) mejorando las prestaciones y fiabilidad, pero también reduciendo el coste. En cuanto a los inversores, se puede afirmar que en términos de eficiencia poco más cabe desarrollar, se está en valores muy cercanos al 100%. Sin embargo, el foco hoy en día está más en las nuevas funcionalidades, el diagnóstico, control, comunicaciones, que se deberán considerar para cumplir con los nuevos requisitos que se están fijando para la conexión a red de las fuentes de energía renovable, y también para extender el tiempo de vida de los equipos electrónicos en diferentes condiciones de funcionamiento. Aunque cada componente o producto tiene sus propias necesidades y su propia ruta de I+D, la mejora completa del

sistema fotovoltaico en su conjunto irá de la mano de la interacción de los diferentes componentes. Se puede afirmar que cada sistema fotovoltaico, cada aplicación para la que va destinado, requiere de diferentes soluciones BoS, y por tanto hay mucho camino todavía para la I+D en este campo.

El crecimiento del mercado fotovoltaico en España, basado fundamentalmente en plantas fotovoltaicas “multi-megavatio”, ha sido un excelente laboratorio para probar la calidad de estos componentes y para alcanzar una madurez tecnológica que permite, a los costes actuales, producir electricidad por debajo de los 10 c€/kWh (y de 7c€/kWh en el sur de España), con niveles de disponibilidad por encima del 98%, y con productividades por encima de los 2000 kWh/kWp para ciertas tecnologías de seguimiento.

Este conocimiento acumulado no se ha restringido a lo técnico sino que se ha extendido a las fórmulas para una correcta comercialización y financiación de estos sistemas (estudios de productividad, mecanismos de “bancarización”, fórmulas contractuales, etc.) que ahora son de aplicación en proyectos de otras partes del mundo.



Figura 4. Medidas de funcionamiento de un conjunto de paneles con seguidor solar. Cortesía del Instituto de Energía Solar.

Si se pone el foco en las aplicaciones, y con permiso del resto, hay una que sin duda tiene un potencial de crecimiento enorme, su aplicación natural, y no es otro que el de la integración de fotovoltaica en edificios y entornos urbanos en general (BIPV, Building Integrated Photovoltaics), en donde el panel fotovoltaico puede ofrecer múltiples funciones además de la de producir electricidad. Y aquí se puede afirmar que todas las políticas europeas (directivas, reales decretos, leyes) en materia de energías renovables, de eficiencia energética, de ahorro, empujan a la fotovoltaica hacia el éxito, desde los edificios “de consumo energético casi nulo” hasta las “ciudades inteligentes”. Hay un potencial enorme en las fachadas de edificios públicos y comerciales, y en general en el sector terciario que no se ha abordado todavía, y que representa una oportunidad para casi todas las tecnologías fotovoltaicas. Aunque los requisitos técnicos para una buena integración no son excesivos, esta aplicación es más complicada que los tradicionales sistemas en suelo, porque hay que poner de acuerdo a muchos

actores, el primero el arquitecto del edificio, pero también el usuario, los diseñadores, y hay que demostrar la versatilidad, la multifuncionalidad y la rentabilidad económica, lo cual complica este tipo de instalaciones. Entendido como una sustitución de materiales constructivos, los sistemas BIPV tienen que demostrar su capacidad de generación eléctrica, sin comprometer las funciones básicas de la envolvente del edificio (por ejemplo aislamiento térmico, control de iluminación, confort) respetando además los códigos técnicos de cada país. En este sentido, cobra especial relevancia la realización de diversos proyectos de demostración, que se enfoquen hacia la flexibilidad de la aplicación, su integración estética, cumpliendo con los requisitos técnicos que se impongan en cada ciudad.

5. España, potencia en sistemas fotovoltaicos

Como en el resto de la cadena de valor de la tecnología fotovoltaica, España también ha sido y es actualmente un referente mundial en “sistemas”, tanto a nivel industrial como en el ámbito de la investigación. Como ya se ha explicado, la cantidad de aspectos que se integran bajo el paraguas del “sistema” fotovoltaico es enorme, y en todos ellos España cuenta con una amplia representación.

Atendiendo a las fases de instalación de un sistema fotovoltaico, en España se trabaja y muy bien desde la fase de diseño, instalación y conexión a red, gestión energética, y la de operación y mantenimiento de plantas fotovoltaicas. Así, por ejemplo existen grandes capacidades para el cálculo de recurso solar y estimación de producción energética, o la evaluación y optimización del diseño de instalaciones, caracterizando energéticamente los productos fotovoltaicos para integración arquitectónica, elaborando anteproyectos y proyectos del diseño de instalaciones fotovoltaicas, analizando la influencia de sombras cercanas mediante el uso de simuladores de sombras, identificando y modelando el sistema para evaluar las pérdidas de energía por estas sombras, y todo ello tanto en instalaciones de suelo como en integración urbana, donde influyen otros factores y hacen esta estimación y diseño más complejos.



Figura 5. Instalación fotovoltaica la sede del CENER en Sarriguren. Cortesía de CENER.

España es referente en el desarrollo de equipos electrónicos de potencia. De hecho se diseñan y desarrollan no solo inversores sino cualquier tipo de equipo electrónico que permita aprovechar la electricidad fotovoltaica, tanto para inyección a red como para aplicaciones aisladas, utilizando además las últimas tecnologías en cuanto a componentes y topologías de conversión de potencia (SiC, GaN). Y así se desarrollan soluciones para bombeo solar potabilización o desalación de agua, inversores de conexión a red de baja, media y alta potencia, todo tipo de algoritmos de gestión activa de la demanda eléctrica combinada con la generación distribuida fotovoltaica para un uso eficiente de la energía, soluciones que combinan fotovoltaica con almacenamiento y aprovechamiento máximo (autoconsumo) de la energía generada, algoritmos para servicios de integración en red (anti-isla, funcionamiento durante perturbaciones en la red, regulación de frecuencia y tensión ...), algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia novedosos, y un largo etcétera.

En el apartado de operación, mantenimiento y caracterización, existen centros y empresas que ofrecen como servicio el análisis de averías en plantas fotovoltaicas, la optimización de la producción o la determinación de

rendimientos reales de los distintos subsistemas de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red. La monitorización de sistemas mediante el diseño e implementación de sistemas de control SCADA específicos para las plantas fotovoltaicas. Existen además centros reconocidos que evalúan la electrónica de potencia de acuerdo a los estándares y normativa regulatoria. En ese sentido, España cuenta con muy buenas infraestructuras para ofrecer estos servicios.

Si el análisis se centra en las aplicaciones, España está también muy bien representada en las principales, teniendo además un papel dominante en las grandes plantas fotovoltaicas, en el apartado de BIPV, sistemas aislados y concentración fotovoltaica. En todos ellos, se están realizando grandes esfuerzos de I+D y se están obteniendo resultados y soluciones que en algunos casos están llegando al mercado.

6. Principales hitos y resultados en España

Fácil es intuir pues que España tiene capacidades sobradas para afrontar el reto que ofrecen los sistemas fotovoltaicos en la actualidad y en el futuro cercano. Destacar resultados concretos en el capítulo de sistemas es complejo por la amplitud de la materia. Mencionaremos a continuación algunos de los resultados e hitos más importantes:

- Sistema inteligente para consumidores residenciales que realiza una gestión de la demanda eléctrica local y de la generación fotovoltaica para optimizar el autoconsumo (Gestión activa de la demanda eléctrica).
- Procedimiento para la determinación de la producción eléctrica esperable de sistemas fotovoltaicos distribuidos en entornos complejos (sombras estáticas y dinámicas).
- Varias patentes en la temática de los algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia y algoritmos de detección de fallos para sistemas con estrategias de seguimiento distribuido.
- Relacionado con la anterior, desarrollo de arquitecturas distribuidas (optimizadores) para su aplicación en sistemas fotovoltaicos heterogéneos.
- Procedimiento para la predicción a corto plazo (24 horas) de la producción eléctrica de sistemas fotovoltaicos con independencia de la provisión de datos externa, rápido aprendizaje y ajuste a los condicionantes locales.
- Metodología para la caracterización energética integral de elementos BIPV en condiciones reales de funcionamiento que incluye aspectos térmicos, lumínicos y eléctricos.
- Metodologías y herramientas de diseño propio para identificar el potencial solar urbano a distintas escalas, desde el edificio/manzana hasta el distrito/ciudad completa. Más en concreto, evaluación del recurso solar y

cálculo de producción de instalaciones fotovoltaicas en emplazamientos de Europa, Asia, África y América

- Desarrollo avanzado de dispositivos electrónicos, por ejemplo, el de un inversor fotovoltaico para las futuras redes de generación distribuida con un diseño específico para la integración de fotovoltaica en edificación, con algoritmos de seguimiento de la región de máxima potencia para optimizadores (patente española), algoritmos de predicción y detección de fallos para mejora de la operación y mantenimiento, nuevos servicios de red (lazo de seguimiento de fase, anti-isla, control de frecuencia, control potencia reactiva, etc.) y protocolo IEC 61850.
- Asesoramiento técnico y anteproyecto para la construcción de instalaciones fotovoltaicas fuera de España (un ejemplo, instalación de 100 MW en Uzbekistán), complementado con el asesoramiento a instituciones financieras sobre alternativas para reducción de los costes de financiación de plantas fotovoltaicas (como se hace en Sudáfrica para plantas inferiores a 5 MW).

La actividad divulgativa de los grupos españoles es además muy extensa, con más de veinte artículos anuales en revistas internacionales e innumerables participaciones en los congresos más representativos del sector solar fotovoltaico, con temas muy variados, como la aplicación de energía solar fotovoltaica en la desalación de agua para construir plantas transportables y ubicables en zonas remotas.

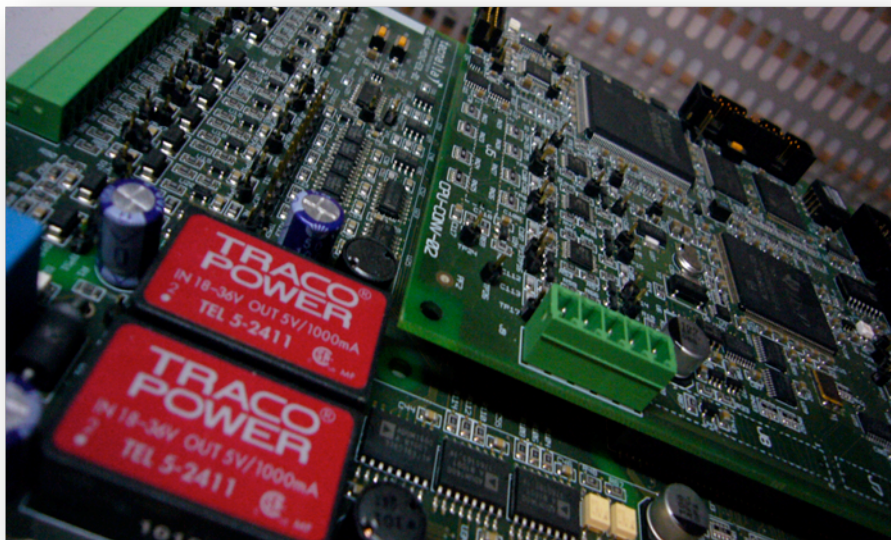
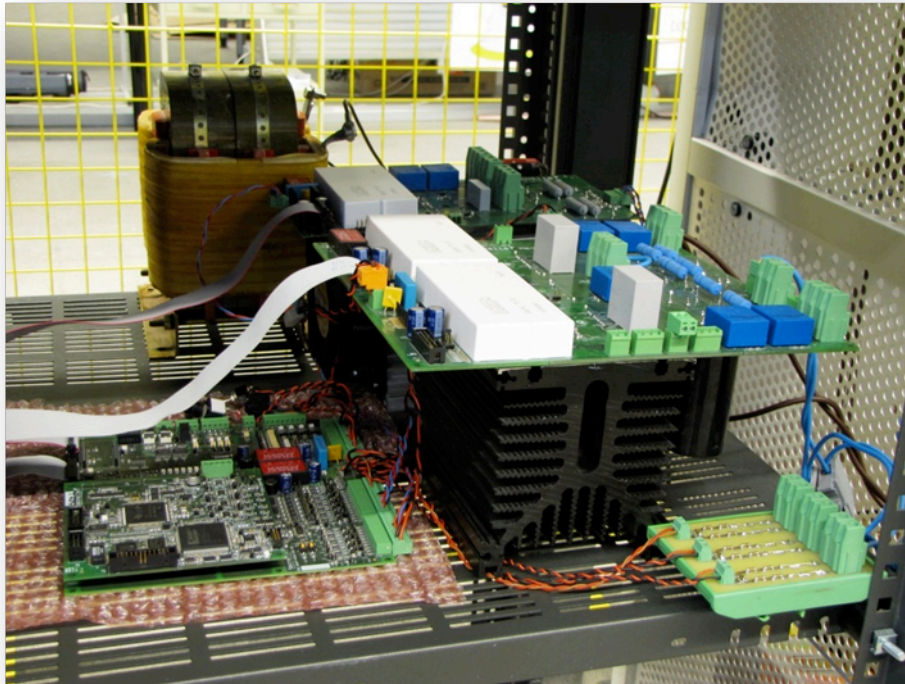


Figura 6. Diseños electrónicos para BoS. Cortesía de Tecnia.

7. Cuanto más delgado mejor

Conversión fotovoltaica en lámina delgada

La aparición de la tecnología fotovoltaica de lámina delgada, hace ya más de treinta años, proponía un cambio de paradigma frente al desarrollo tradicional del silicio cristalino, y era el de encontrar procesos tecnológicos alternativos de fabricación lo suficientemente baratos como para compensar la eventual disminución de eficiencia y, por tanto, reducir el coste por vatio, que es el objetivo final. La reducción de los costes de producción pasaba, indefectiblemente, por una reducción en el volumen de material necesario para la fabricación de las capas activas de las células, que debían pasar a ser más delgadas que las obleas de silicio.

En la situación actual, y tras décadas de desarrollo, los rendimientos a nivel de célula de las tecnologías de lámina delgada más prometedoras han igualado, a escala de laboratorio por encima del 20%, los rendimientos del mejor silicio multicristalino. Pero por otra parte, la actual situación del mercado fotovoltaico ha llevado los precios de venta del silicio cristalino al mismo nivel que los de las láminas delgadas. Es decir, se han igualado las razones €/Wp del silicio cristalino y de la lámina delgada a base de igualar tanto el numerador como el denominador de dicho cociente. En estas circunstancias el interés por las tecnologías de lámina delgada se ha visto moderado por el progreso de las tecnologías competidoras.

Esta evolución de la tecnología se ve claramente reflejada en su penetración en el mercado fotovoltaico. La tasa compuesta de crecimiento anual del mercado de módulos de lámina delgada estuvo entre 2005 y 2009 por encima de la del conjunto de la industria fotovoltaica, llevando la cuota de mercado de la lámina delgada desde el 6% en 2005 hasta el 20% en 2009. Desde entonces, su cuota de mercado ha ido disminuyendo lentamente como consecuencia de un crecimiento ligeramente inferior al de las tecnologías basadas en oblea de silicio. En este momento está en torno al 10% (véase Figura 7). En 2011 había más de 200 empresas en todo el mundo trabajando en tecnología de lámina delgada, desde investigación y

desarrollo hasta grandes plantas de producción industrial. Hoy ese número es aproximadamente la mitad.

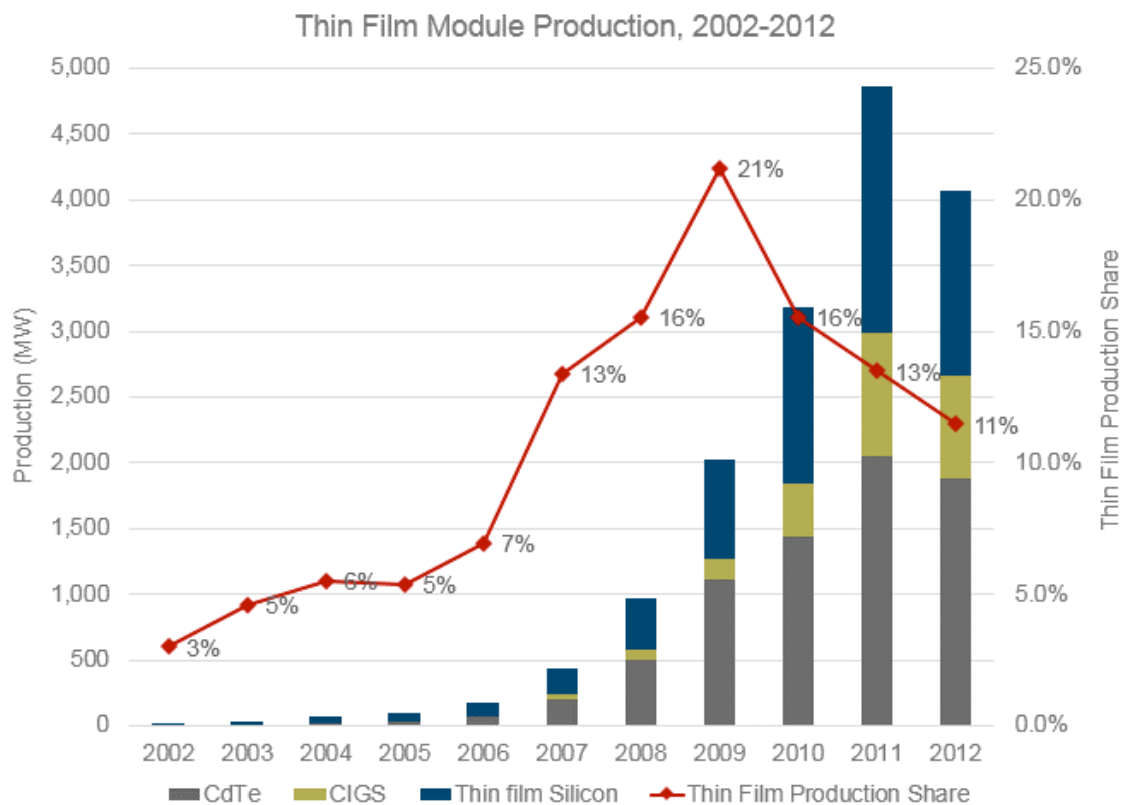


Figura 7. Evolución de la producción mundial de módulos de lámina delgada y cuota de mercado de estas tecnologías frente al conjunto de la producción fotovoltaica. Fuente: PC's Solar Photovoltaics Blog, mayo 2013.

Esta evolución debe, no obstante, contemplarse teniendo en cuenta importantes consideraciones. Por una parte, es innegable que uno de los factores que han contribuido a la disminución de costes de la energía solar fotovoltaica ha sido y es la fuerte competencia que supone la tecnología de telururo de cadmio, representada fundamentalmente por el fabricante estadounidense First Solar. Esta tecnología ha tenido una fulgurante evolución, tanto en el aumento de la eficiencia como en la disminución de los costes de producción, hasta el punto de que su curva de aprendizaje es mejor que la del conjunto de las tecnologías fotovoltaicas. Está por ver qué tecnología fotovoltaica encuentra antes limitaciones para seguir mejorando su ratio eficiencia/coste.

Price Learning Curve by Technology Cumulative Production up to Q3. 2013

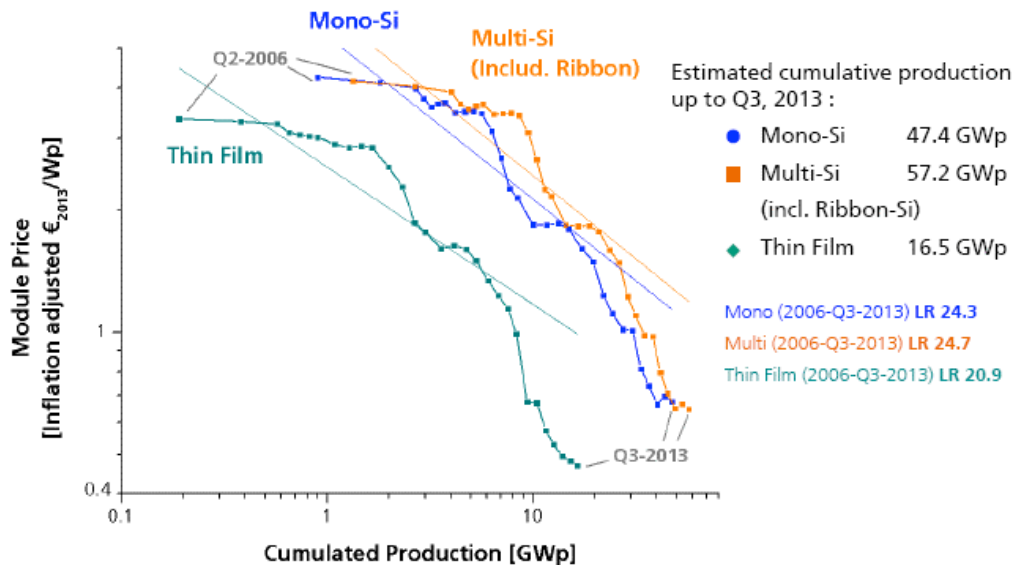


Figura 8. Curvas de aprendizaje del conjunto de las tecnologías fotovoltaicas y de las de lámina delgada (fuertemente determinadas por la de CdTe). Fuente Fraunhofer ISE Photovoltaic Report Nov. 7, 2013.

Por otra parte, no se debe olvidar que el desarrollo de la fotovoltaica de lámina delgada ha cambiado radicalmente las perspectivas comerciales de la integración fotovoltaica en edificios (abreviadamente BIPV) por razones que van mucho más allá de la eficiencia. La versatilidad, la posibilidad de fabricar módulos flexibles, semitransparentes y de aspecto estético incomparablemente mejor que el la mayor parte de sus competidoras, han marcado de forma clara la hoja de ruta de las tecnologías fotovoltaicas de lámina delgada, como una opción fundamental en el desarrollo del BIPV en los próximos años, de modo que si la coyuntura actual, aún fuertemente dependiente del desarrollo de plantas fotovoltaicas sobre suelo, determina las cuotas de mercado actuales, es innegable que la evolución que el futuro a medio y largo plazo depara para el BIPV estará basada en gran medida en lámina delgada así como en dispositivos orgánicos e híbridos.



Figura 9. fotovoltaico de lámina delgada integrado en edificio. Fuente AmpleSun.

La mayor parte de las empresas de lámina delgada están basadas en silicio y fabrican dispositivos bien de silicio amorfo, bien de silicio amorfo y microcristalino. El número de compañías que basan sus dispositivos en un absorbente de Cu(In,Ga)(Se,S)_2 , conocidas como CIGS, es inferior y sólo unas pocas usan CdTe, si bien es de subrayar que la producción de una de ellas (First Solar) es por sí sola aproximadamente la mitad de la producción total de lámina delgada en el mundo (siendo First Solar uno de los cinco mayores fabricantes fotovoltaicos mundiales de cualquier tecnología).

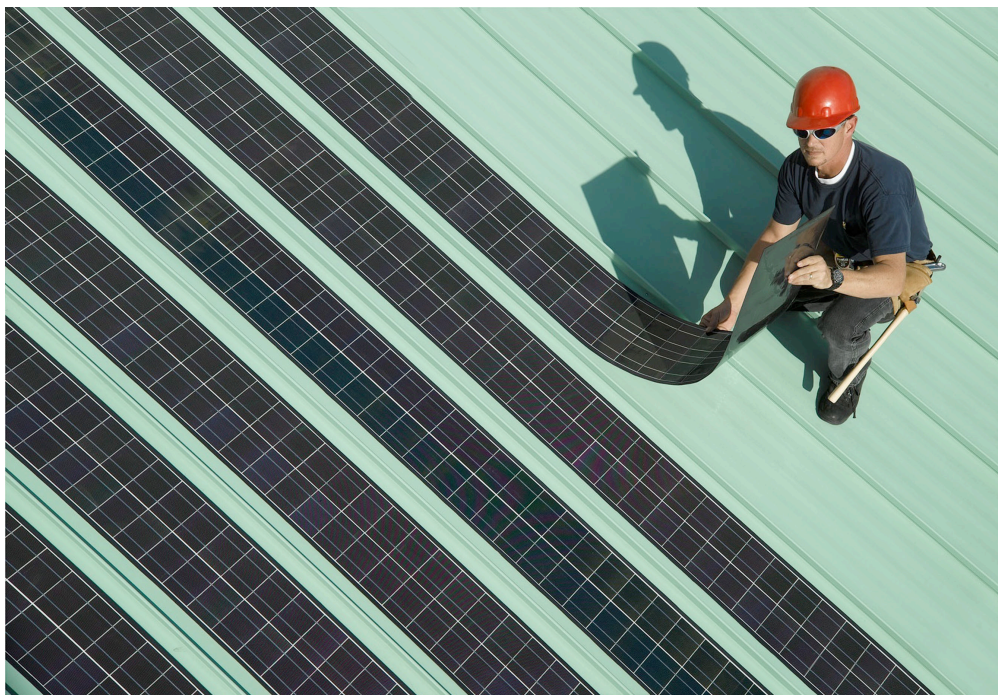


Figura 10. Una cubierta industrial convertida en sistema fotovoltaico mediante módulos flexibles de lámina delgada, fabricados en rollo.

Los principales retos con los que se enfrentan las diferentes tecnologías de lámina delgada, y que no son comunes a todas ellas, son: la necesidad de aumentar los ritmos de crecimiento para mejorar las tasas de producción, la mejora de los mecanismos de atrapamiento de luz, la fotoestabilidad, la disponibilidad de materia prima (Te, In, Ga...), el reciclado de módulos en cuya fabricación se usan elementos tóxicos y la extrapolación de procesos de laboratorio hasta la escala industrial.

8. Capacidades en España en lámina delgada

En nuestro país hay unos diez grupos de investigación dedicados a la conversión fotovoltaica en lámina delgada. Aproximadamente la mitad de ellos tienen en esta área una experiencia investigadora por encima de los 25 a 30 años, con actividad sostenida y significativa en silicio amorfo, microcristalino y otras formas de silicio en lámina delgada, calcogenuros (CdTe, CIGS...) y óxidos conductores transparentes. Estos grupos tienen tanto capacidad tecnológica de preparación de materiales y dispositivos (incluso módulos monolíticos), como amplia experiencia en la caracterización de láminas delgadas, células y módulos, desde muestras de laboratorio hasta productos comerciales. Dicha capacidad los sitúa en posición adecuada para acometer la mayor parte de los retos arriba reseñados, especialmente los tecnológicos, por lo que se encuentran en posiciones razonables en el conjunto de los centros de investigación en lámina delgada en el mundo.

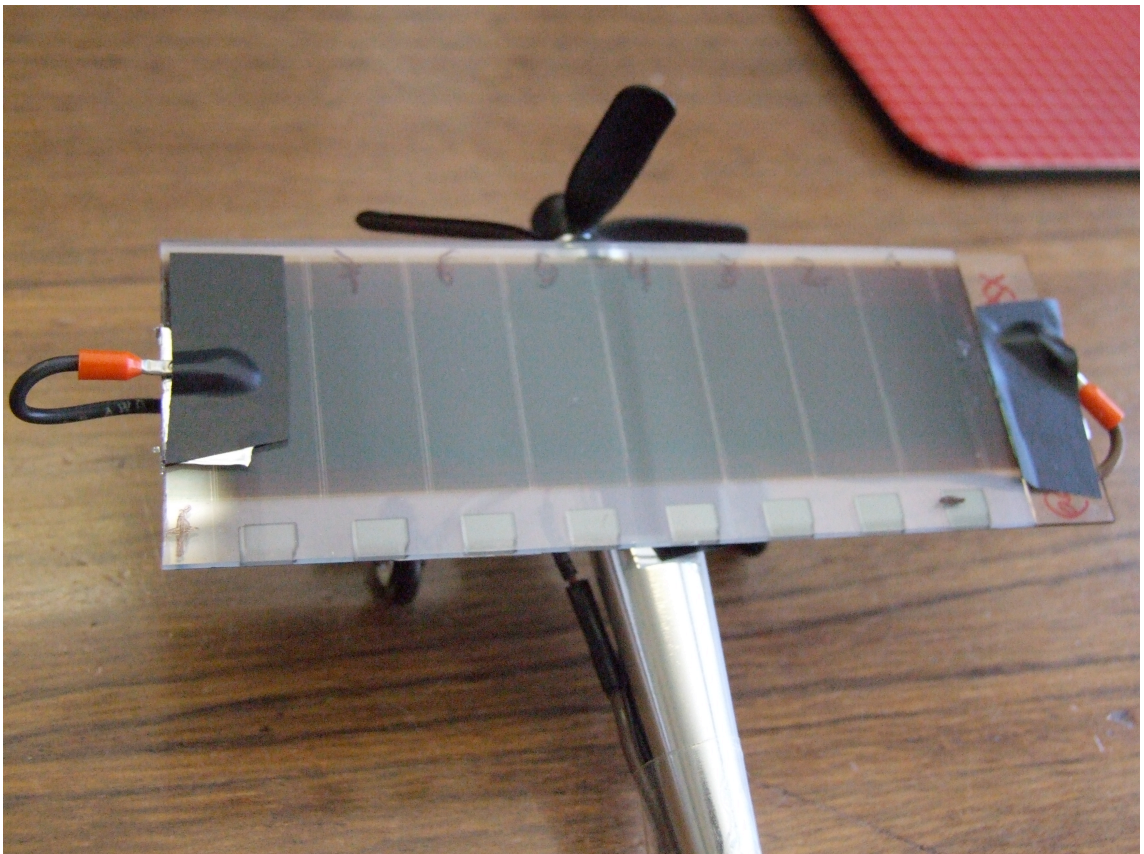


Figura 11. Un módulo prototipo de laboratorio de silicio amorfo desarrollado íntegramente en la Unidad de Energía Solar Fotovoltaica del CIEMAT. Cortesía del CIEMAT.

En el ámbito industrial cabe destacar que hasta hace unos dos años llegó a haber en España hasta tres fábricas de módulos de lámina delgada de diferentes tecnologías en funcionamiento (Gadir Solar en Cádiz, T-Solar en Orense y Solíker en Salamanca), más una en proyecto (Hellín Energética en Albacete), lo cual implicaba una capacidad industrial muy por encima de la media de los países europeos y un valor tecnológico muy significativo. Como consecuencia de los ataques sufridos por la tecnología fotovoltaica a los que ya se ha hecho referencia, no hay en este momento ningún fabricante de módulos de lámina delgada en activo en España. Mientras tanto, el mercado fotovoltaico mundial sigue creciendo a ritmos en torno al 25% anual.

9. Hitos y resultados de los grupos españoles

Los grupos españoles han desarrollado con éxito la tecnología de todos los materiales que se usan en fotovoltaica de lámina delgada. Aquellos que se dedican al desarrollo de dispositivos, han conseguido hitos significativos, como el desarrollo de células de silicio amorfo de unión simple con eficiencias por encima de 9% (muy cerca del 10.1% de récord mundial); el desarrollo de módulos monolíticos de silicio amorfo sobre vidrio combinando la tecnología de célula con procesos de ablación láser, con eficiencias de módulo del 7%; células basadas en oblea de silicio monocristalino a las que se ha aplicado procesos de lámina delgada para pasivar, con eficiencias de 20.7%; y células de heterounión de silicio preparadas con procesos de baja temperatura, que han alcanzado por el momento eficiencias de 17.7%. En el ámbito de los calcogenuros, cabe destacar la aparición de nuevos actores en el panorama nacional, alguno de ellos con presencia destacada en proyectos, tanto nacionales como europeos, sobre el desarrollo de nuevos materiales.

En general, se puede decir que la comunidad investigadora nacional ha desarrollado suficiente tecnología y experiencia en fabricación, instalación y caracterización de dispositivos de lámina delgada para dar apoyo técnico completo a cualquier socio industrial que quiera acometer una línea de producción. Esta situación, sin embargo, podría empeorar notablemente en poco tiempo si no se revierte la dañina política de contracción de la I+D, que está haciendo perder capital humano de la más alta cualificación en este sector como en otros de la ciencia y la tecnología.

10. Fotovoltaica viva: La tecnología orgánica

Bajo el epígrafe de fotovoltaica orgánica se engloban diferentes tipos de células solares que tienen en común el uso de moléculas y/o materiales orgánicos. El interés en este tipo de dispositivos fotovoltaicos reside en 4 grandes pilares: 1) el uso de materiales abundantes en la corteza terrestre, 2) la escasa o nula, en algunos casos, toxicidad, 3) el bajo consumo de energía en su fabricación, puesto que solo en uno de los casos se necesitan temperaturas cercanas a 500°C y 4) el “tiempo de recuperación de energía” relativamente corto en comparación con otras tecnologías si se tiene en cuenta el análisis del ciclo de vida y reciclaje de los componentes.

En muchos de los casos, los dispositivos fotovoltaicos orgánicos están una fase preliminar de estudio a nivel de laboratorio y en un caso particular, las células solares conocidas como células de colorante o células de Grätzel (en honor a su inventor), ya han dado el salto a la fase pre-industrial.

A nivel europeo hay que destacar las siguientes empresas que han apostado desde su inicio por las células solares orgánicas:

-Solaronix (Suiza). Con células de Grätzel, son los responsables de la primera fachada fotovoltaica fabricada con esta tecnología utilizando colorantes orgánicos (Figura 12).



Figura 12. Detalle de la fachada translúcida del centro de convenciones de Lausana (Suiza) con un total de 355 paneles y una producción estimada de 2000 kWh/año. Fotografía cedida por Solaronix.

-Heliatek GmbH (Alemania). Esta empresa está especializada en el uso de sistemas de alto vacío para la preparación de módulos fotovoltaicos fabricados con moléculas orgánicas de bajo peso molecular (también conocidas como moléculas pequeñas). Actualmente tienen el récord de las células orgánicas (12.1% de eficiencia) con un módulo de 100 cm² fabricado mediante una unión triple de diferentes colorantes (Figura 13).

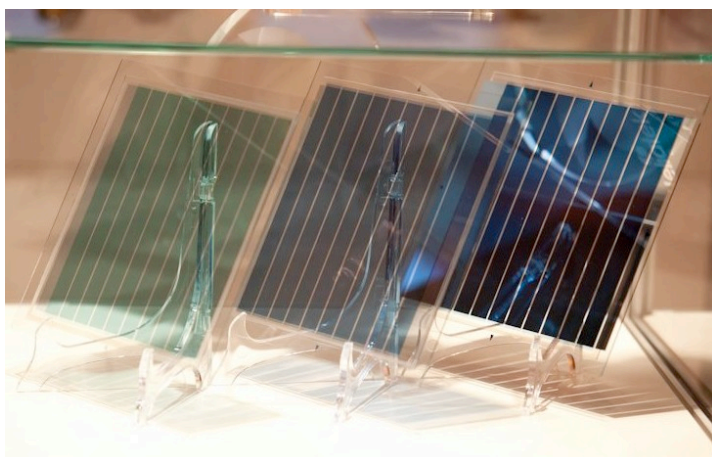


Figura 13. Módulos de Heliatek GmbH transparentes fabricados con moléculas orgánicas pequeñas. Fotografía cedida por Heliatek GmbH.

En España, el desarrollo de la fotovoltaica orgánica está circunscrito únicamente a centros de investigación CSIC, universidades y centros tecnológicos. Además, la organización de los diferentes grupos de investigación que trabajan activamente en fotovoltaica orgánica está desestructurada, a falta de un proyecto común liderado por empresas nacionales, que más bien han preferido invertir en grupos extranjeros, esperando poder adquirir las “spin-off” de esos centros y/o sus patentes cuando la tecnología esté madura.

En el pasado, algunas empresas nacionales iniciaron proyectos en fotovoltaica orgánica, en algunos casos con más ilusión que financiación,

pero los cambios en las políticas de I+D y en la evolución del mercado les forzaron a terminar los proyectos.

Aun así, los grupos de investigación españoles han alcanzado cotas muy altas de reconocimiento tanto a nivel nacional como a nivel internacional. Muchos de los valores publicados para eficiencias en dispositivos fotovoltaicos por grupos internacionales han sido ya alcanzados (y en algunos casos mejorados) en nuestro país, en condiciones de financiación precarias cuando se comparan los presupuestos con los grupos referencia en el ámbito internacional.

En el caso de que esta tecnología entre en el mercado en los próximos años (se espera que dentro del programa de investigación de la Unión Europea de aquí al 2020, el llamado Horizonte 2020, la utilización de fotovoltaica orgánica en integración arquitectónica adquiera un impulso importante), España sufrirá ante la falta de personal cualificado que entienda y sepa de este tipo de dispositivos fotovoltaicos.

11. Más luz, más luz: La concentración fotovoltaica

En los últimos años, y muy especialmente en la última década, se ha producido el desarrollo de nuevas tecnologías de células solares de muy alta eficiencia basadas en semiconductores III-V. Dicho desarrollo se ha producido inicialmente para la industria aeroespacial, y se ha trasladado posteriormente a la fotovoltaica terrestre. En la actualidad las eficiencias de este tipo de células superan el 44 % en el laboratorio y el 40% en producción industrial. Estos dispositivos, cuyo coste por unidad de área es mucho mayor que el de las tecnologías fotovoltaicas convencionales, encuentran en la concentración fotovoltaica una oportunidad para competir en el mercado fotovoltaico terrestre y se han convertido en una de las grandes promesas de reducción de coste de generación fotovoltaica en los próximos años. La aparición de estas células de alta eficiencia ha supuesto un nuevo impulso a la concentración fotovoltaica, cuyos orígenes se remontan a los años 70 pero cuya presencia en el mercado se limita al último lustro. La idea fundamental de esta tecnología consiste en utilizar un elemento óptico para la captación de la radiación solar, que concentra la luz en un área muy pequeña donde se sitúa la célula solar. Cualquier dispositivo fotovoltaico, aunque su proceso de fabricación sea caro, puede ser competitivo si el tamaño del mismo es suficientemente pequeño. El nivel de concentración, que viene determinado por la relación entre el área de captación del sistema óptico (S) y el área de la célula solar (S') debe ser el necesario para alcanzar dicha condición (a la relación S/S' se la llama comúnmente "número de soles"). Pero además, la mayor eficiencia de conversión de estas tecnologías, que doblan ampliamente las del silicio, supone una reducción de coste en la medida que el área necesaria para la producción de la misma energía es muy inferior. Dependiendo del tipo de célula existen sistemas de muy diversos niveles de concentración. Típicamente se habla de baja concentración cuando $S/S' \leq 10$, media concentración hasta 50 y alta concentración si son valores elevados ($S/S' > 100$). Mientras que en los inicios la concentración fotovoltaica estuvo basada en dispositivos de silicio en concentraciones medias o bajas, en la actualidad el mercado está

dominado por células multi-unión III-V que trabajan en niveles de entre 500 y 1300 soles.

El récord mundial de eficiencia de conversión directa radiación solar–electricidad, por medios fotovoltaicos, lo ostentan las tecnologías de célula basadas en materiales que pertenecen a los grupos III y V del sistema periódico. La ventaja del tipo de compuestos que se pueden obtener a partir de esos materiales (AsGa, InP, AsGaAl...) es la capacidad de poder variar de manera controlada la anchura de la “banda prohibida” del semiconductor, y por lo tanto, el rango de longitudes de onda que absorbe cada célula. De este modo la célula fotovoltaica que se puede fabricar no es una única unión p-n, como en las otras tecnologías inorgánicas, sino una sucesión de células fotovoltaicas (uniones) de distintas características (energía de la banda prohibida) que permiten un mayor rango de absorción del espectro solar y de ahí una mayor eficiencia de conversión. La tecnología así descrita consta de 2, 3 ó 4 uniones y las células se llaman células “multi-unión”. Esta tecnología tiene por lo tanto grandes posibilidades de eficiencia, pero también su coste de fabricación es más elevado que el de las otras tecnologías, por lo tanto es la candidata óptima para aplicar el esquema de fotovoltaica de concentración (ver Figura 14).

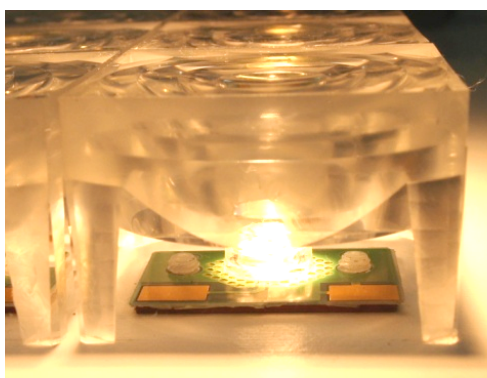


Figura 14. Célula solar multi-unión de muy alta eficiencia en concentración (cortesía de Instituto de Energía Solar).

La tecnología fotovoltaica de concentración ha entrado en el mercado de generación eléctrica en los últimos años, con un crecimiento sostenido que ha dado lugar a una capacidad acumulada superior a los 300 MWp actualmente y una previsión de alcanzar 1 GW antes de 2020. En el

momento actual existe una capacidad de producción mundial superior a los 600 MWp, concentrada en apenas cinco fabricantes, y un gran número de empresas en etapa de planta piloto de fabricación, entre ellas algunas españolas.

12. Capacidades en España de fotovoltaica de concentración

España ha sido pionera en la fotovoltaica de concentración desde los inicios de esta tecnología. A lo largo de 30 años nuestro país ha hecho contribuciones clave en el diseño de sistemas de baja y media concentración basados en silicio, el diseño y fabricación de sistemas ópticos anidóticos para concentración fotovoltaica, el diseño y fabricación de espejos y lentes de concentración, en la tecnología de células multi-unión sobre sustrato de Germanio, nuevos conceptos e ideas innovadoras de concentración como las células solares de banda intermedia, la caracterización de células, módulos y sistemas de concentración proponiendo nuevas metodologías y equipos tanto de laboratorio como de producción. Otras de las señas de identidad de nuestros grupos han sido la contribución y liderazgo en el desarrollo de normativa internacional, muy demandada por el mercado y necesaria para el crecimiento de esta tecnología, participando muy activamente en los comités de la International Electrotechnical Commission; y la transferencia al sector productivo de muchas de las tecnologías desarrolladas al cabo de estos años. Por otra parte, como un proyecto externalizado del Instituto de Energía Solar surgió en 2006 el ISFOC en la Comunidad de Castilla la Mancha (Puertollano). En este instituto, dedicado únicamente a fotovoltaica de concentración, se prueban en funcionamiento real bajo condiciones óptimas de irradiación distintas tecnologías de fotovoltaica de concentración, módulos, ensamblajes y componentes individuales (Figura 15). También en el ámbito de desarrollo hay grupos en España que trabajan en sistemas de control para seguidores, algoritmos para el seguimiento del punto de máxima potencia en fotovoltaica de concentración y diseño de lentes Fresnel. Contamos también con laboratorios acreditados a nivel mundial para probar los componentes fotovoltaicos según estándares internacionales (IEC-62108) con grupos de trabajo dedicados la investigación en componentes, especialmente ópticos, caracterización de células y prueba de seguidores.



Figura 15. Prueba en funcionamiento real de tecnologías de concentración. Cortesía de ISFOC.

En la actualidad una empresa española fabrica y comercializa un producto de fotovoltaica de concentración en Estados Unidos y Sudamérica, y, aparte de anteriores proyectos de demostración en muy baja concentración en módulo plano de silicio (1,5 soles), ha adquirido una pequeña empresa nacional que fabrica un prototipo de diseño propio. Otras empresas españolas han diseñado y fabrican pequeñas series de módulos fotovoltaicos de concentración y seguidores.

En lo que se refiere a componentes, hay empresas que diseñan y fabrican ópticas no formadoras de imagen para fotovoltaica de concentración. Otras desarrollan y fabrican sensores solares y sistemas de control de seguidores para seguimiento solar de alta precisión, o trabajan en los aspectos relativos a diseño de componentes para plantas de muy alta concentración fotovoltaica (>2000 soles), y su industrialización.

13. Hitos y resultados de los grupos españoles

El desarrollo de la fotovoltaica de concentración ha sido una constante de dedicación en varios grupos de trabajo españoles tanto a nivel universitario, como en la etapa de centro tecnológico, PYME o gran empresa.

Como hitos significativos se pueden destacar que en España se diseñó y construyó el primer sistema de concentración de Europa, la mayor planta de concentración del mundo en su momento basada en concentradores lineales, y se propuso y patentó la lente de Fresnel híbrida de vidrio-silicona dominante en los sistemas actuales. Recientemente ha tenido un gran éxito la presentación del primer simulador solar en superficie grande para módulos de fotovoltaica de concentración, que comercializa actualmente una empresa tecnológica spin-off del grupo que lo ha desarrollado. En España se han obtenido valores récord de eficiencia en células de doble unión. A nivel básico en la investigación de dispositivos, el postulado de la Banda Intermedia también ha sido un hito importante en la lista y capacidad de innovación de la I+D fotovoltaica de nuestro país.

Hemos tenido, por otra parte, empresas pioneras en el prototipado industrial de la tecnología de concentración, con un productos de concentración próxima a 1000, y también desarrollos a menores concentraciones, así como productos de concentración basados en células de Silicio de contactos posteriores.

Respecto a resultados genéricos de los grupos españoles, merece la pena resaltar la saga de proyectos de investigación “SIGMASOLES” o “La innovación en Fotovoltaica de Concentración en España”, donde se fueron además contemplando las distintas etapas en el desarrollo y robustecimiento de los dispositivos y componentes hasta el estudio del funcionamiento óptimo en las plantas. En los siguientes proyectos SIGMAMÓDULOS, SIGMATRACKERS y SIGMAPLANTAS participaban todos los actores españoles en el ámbito de la FV de concentración: universidades, centros tecnológicos y empresas.

Todos los resultados obtenidos han permitido la consolidación del conocimiento de las características y dificultades de esta tecnología y por lo tanto, van a ser clave para el desarrollo de los productos de la nueva generación.

14. España, potencia fotovoltaica

España ha jugado un papel relevante en el despegue de la tecnología fotovoltaica a nivel mundial, y tiene experiencia, conocimientos y capacidades para seguir haciéndolo en esta nueva fase, en la que la tecnología está entrando en su madurez y se consolidará en un futuro cercano como una fuente de energía clave. Su imparable desarrollo y la necesidad de cambiar nuestro modelo energético y de buscar nuevos modelos de crecimiento económico, hacen de la energía solar fotovoltaica una oportunidad de negocio que no debemos dejar pasar.