

## Energía solar fotovoltaica



**Fernando Briones Fernández-Pola**

Doctor en Física

Profesor de Investigación del CSIC

### Resumen

El importante papel que se espera juegue la energía solar fotovoltaica en el nuevo paradigma energético se basa, por un lado, en los rápidos avances de la I+D que han permitido obtener espectaculares eficiencias de conversión directa de la luz solar en energía eléctrica y, por otro, en el desarrollo de una industria de fabricación, china, de células y paneles fotovoltaicos a un coste tan bajo que ha adelantado el logro de un hito histórico: la paridad de coste del kWh solar/ kWh en la red eléctrica. Los argumentos en contra de la viabilidad en gran escala de esta tecnología quedan obsoletos y dan vía verde a su implantación, especialmente en países de economías emergentes.

### Palabras clave

Energía solar fotovoltaica, nanotecnología, silicio, arseniuro de galio

### Abstract

*Expected relevant role, within the new energy paradigm, of photovoltaic (PV) solar energy is based on: First on the rapid advances of research and development in the PV field that have allowed spectacular high efficiencies for light to electricity conversion. Second, on the development of a low cost production industry, mainly in China, for PV cells and PV panels, resulting in a premature achievement of a mythical milestone: the grid parity (solar kWh/ grid kWh cost ratio). Arguments against viability of PV technology are now obsolete, opening the door for its large scale implementation, particularly at emergent economy countries.*

### Keywords

*Solar photovoltaic power, nanotechnology, silicon, gallium arsenide*

En el reciente Congreso Europeo de Energía Solar Fotovoltaica (EPSEC, octubre de 2013), asistimos a dos acontecimientos relevantes que justificarían, de entrada, la oportunidad de escribir las notas que siguen sobre el desarrollo de esa forma de energía y sobre su papel en el cambio de paradigma energético que irremediamente se está produciendo en el mundo y que, por supuesto, afectará también a España.

El primero es la concesión del Premio Becquerel, el más relevante que concede la Comisión Europea en tecnología fotovoltaica, al Prof. Gabriel Sala de la UPM, en reconocimiento de sus muchas aportaciones a la I+D en Energía Solar Fotovoltaica. El comité internacional decidió que la entrega del premio debía corresponder personalmente a otro español de enorme prestigio, el Prof. Antonio Luque, reconocido internacionalmente como pionero en este campo, creador del Instituto de Energía Solar de la UPM e impulsor de la empresa ISOFOTON, la primera y única empresa española que ha sido capaz de producir, con tecnología propia, células solares de silicio y más recientemente, células de concentración de alta eficiencia de arseniuro de galio.

El autor del presente artículo, investigador en nanotecnología de semiconductores III-V (arseniuro de galio, entre otros) del Instituto de Microelectrónica de Madrid-CSIC, quiere reseñar aquí, explícitamente, la importancia y la oportunidad de este reconocimiento internacional a la excelencia en el campo fotovoltaico de la actualmente tan maltratada investigación española.

El segundo acontecimiento podría describirse como la constatación pública de una evidencia ya conocida por algunos profesionales del sector, pero que solo se esperaba para el final de esta década: se ha alcanzado, ya en este

año 2013, la paridad entre el coste de la energía eléctrica solar fotovoltaica y el precio medio de la energía eléctrica en red producida mediante tecnologías convencionales. Este hecho, sin duda adelantado por la intervención en el mercado energético de un nuevo, insospechado y descomunal actor, el poder del desarrollo tecnológico e industrial y del agresivo capitalismo de estado de China, supone una revolución, no solo, como veremos, para los países en desarrollo sino también para los más avanzados: la energía solar fotovoltaica es ya una realidad que compete en el mercado internacional con un coste por vatio no solo inferior a la cota establecida durante muchos años como mítico umbral de competitividad para las células fotovoltaicas, 1US\$/W, sino ya por debajo de los 0,6 €/W para paneles completos de silicio monocristal o policristalino, con una eficiencia del orden del 15 %-20 %. Más aún, en el caso de paneles solares de película delgada con eficiencias superiores al 10 %-15 % en climas con nubosidad variable como el de Alemania y con una vida útil de más de 20 años, el precio en el mercado Europeo llega a ser inferior a los 0,5€/W.

Por otro lado, en sistemas fotovoltaicos de concentración, con células de multiunión de alta tecnología desarrolladas en Europa, se ha registrado un increíble récord del 44,7 % de eficiencia, lo que implica sean ya competitivas en climas de alta insolación directa como es el de Almería en nuestro país o el de grandes áreas de California y Arizona en EE. UU.

Estamos pues ante un hito histórico que, sin duda, puede contribuir a cambiar el paradigma energético del mundo antes de lo esperado. En lo que sigue daremos razones y detalles de este hecho.

### El Sol

El 90 % de la energía que utilizamos actualmente en el mundo procede de los combustibles fósiles acumulados bajo tierra a lo largo de muchos millones de años. Las bacterias primitivas y luego las algas verdes y la vegetación han sintetizado esa materia orgánica a partir, principalmente, de procesos fotoquímicos, posibles en la nanoescala con el aporte de la energía de la luz solar. A pesar del reducido tamaño de esos nanorreactores, el impacto de la fotosíntesis sobre el planeta ha sido y es enorme: ha generado la materia prima que alimenta la vida y, más aún, ha sintetizado como subproducto todo el oxígeno que respiramos. El proceso es globalmente tan eficiente, que todo ese oxígeno que, por cierto, también estamos quemando (se necesitan

dos átomos de oxígeno por cada molécula de CO<sub>2</sub>), se va renovando continuamente en la atmósfera con un ciclo de aproximadamente 5.000 años.

Sin embargo, la fotosíntesis de las algas y de la vegetación solo utiliza una mínima parte, un 0,5 % de la energía de la radiación solar que llega a la superficie de los continentes y de los mares. El resto de esa energía genera calor y da origen a la evaporación, los vientos y las corrientes de agua que se aprovechan mínimamente como energías eólica e hidráulica. Una gran parte de la energía incidente del Sol, del orden de un 30 %, es reflejada por las nubes y los hielos y el 70 % restante, reemitida en forma de radiación infrarroja hacia el espacio. La quema de los combustibles fósiles, biocombustibles, residuos y la contribución de las energías eólica e hidráulica que utilizamos los humanos suponen en total solo un 0.01 % de la energía solar recibida.

Estrictamente, todas las energías renovables (con excepción de la geotérmica, la mareomotriz y la energía nuclear de fisión) proceden de la energía de la estrella Sol, un reactor natural de fusión nuclear de hidrógeno con una potencia de  $3,84 \times 10^{17}$  GW (1GW es la potencia de una central nuclear grande) que funciona sin problemas desde hace 4.500 millones de años y que suministra a nuestro planeta un flujo de energía de 1,35 kW/m<sup>2</sup>. La Tierra posee un escudo magnético, como el de las naves espaciales en las historias de ciencia ficción, que nos protege del bombardeo de partículas, principalmente protones, que escapan del Sol, y una atmósfera que absorbe las radiaciones ionizantes. La estrella Sol es un reactor de fusión perfecto (ver tabla 1) desde nuestro punto de vista como seres vivos. Nuestro ecosistema, además por efecto de la evolución, está adaptado con precisión al flujo de energía incidente, a su composición espectral y a sus variaciones estacionales y diurnas.

De acuerdo con esta evidencia, no sería necesario ni aconsejable perturbar este perfecto y complejísimo sistema mediante la introducción de nuevas y poderosas fuentes de energía artificiales, como podrían ser en el futuro los reactores de fusión en la Tierra, aunque fueran capaces de evitar la quema de los combustibles fósiles. En principio, como modelo, sería preferible aprender a captar y a utilizar de forma eficiente y respetuosa una pequeña parte de la energía solar para cubrir las necesidades reales de energía de una utópica y avanzada sociedad. Obviamente, estamos de acuerdo en que esto es imposible en el escenario actual.

**Tabla 1. Especificaciones técnicas del reactor natural de fusión termonuclear SOL**

Potencia	3,84x10 <sup>17</sup> GW (1GW es la potencia de una central nuclear grande)
Combustible	Hidrógeno
Residuos radioactivos	Ninguno
Tiempo de funcionamiento	4.500 millones de años
Vida probable sin averías	1.000 millones de años
Distancia media a la Tierra	1,496x10 <sup>8</sup> km
Distribución de energía	Radiación electromagnética
Temperatura efectiva	5.780K (cuerpo negro)
Inclinación del plano ecuatorial con respecto a la eclíptica	23° 26´ 54´´
Constante solar	1,353 kW/m <sup>2</sup> media (1,410 en invierno - 1,309 en verano)
Elementos de seguridad (en la Tierra)	- Escudo magnético frente a protones de alta energía (ionosfera) - Absorción de radiaciones UV ionizantes en la alta atmósfera

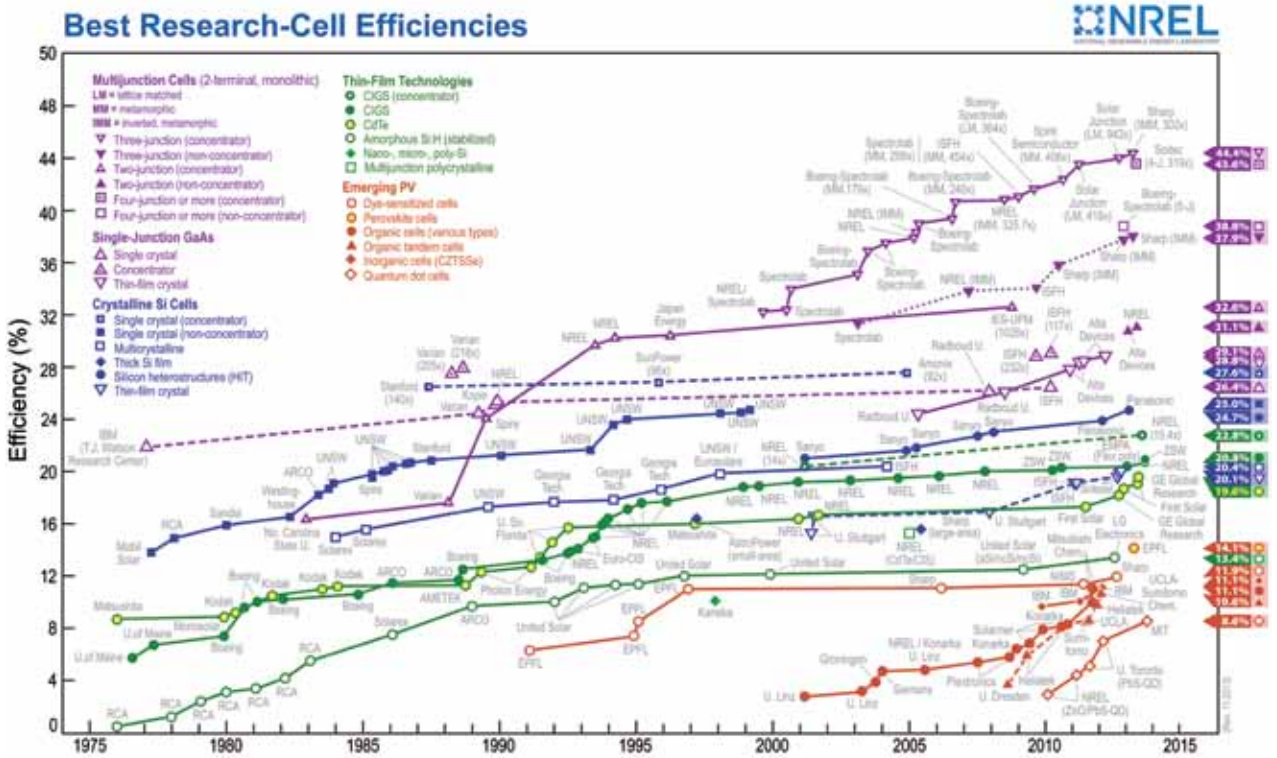


Fig. 1. Evolución de la eficiencia de células fotovoltaicas NREL 2013



Fig. 2. Panel concentración solar IES UPM

### Un nuevo modelo energético

El anterior modelo energético ideal y objetivo a largo plazo para un desarrollo sostenible del mundo, cuenta ahora con un aliado decisivo, el rapidísimo ritmo de evolución de la ciencia y de la tecnología, mantenido por los intereses del mercado. Si somos capaces de mantener este ritmo unos años más, sin que algún loco nos haga caer de nuevo en una Edad Media, la ciencia hará evidente la superioridad de este modelo por tener ventajas sociales y medioambientales incontestables y nos permitirá aprender a ponerlo en práctica.

### Células fotovoltaicas

A corto y medio plazo, los dispositivos de estado sólido más competitivos para la captación y conversión directa de luz en electricidad son las células solares fotovoltaicas. Se trata de dispositivos que convierten no el calor, sino directamente la energía del cuanto de luz, el fotón, en energía eléctrica, por un proceso puramente cuántico de generación de pares electrón-hueco en un diodo semiconductor. El rendimiento práctico de conversión de la radiación solar en energía eléctrica mediante las actuales células comerciales

de silicio oscila entre un 15 % y un 20 %, según la tecnología elegida y el fabricante. Su coste energético, es decir, el tiempo que deberían funcionar para devolver la energía empleada en la fabricación de un módulo completo, oscila entre 1,5 y 3,5 años y su tiempo de vida útil garantizado es de 25 años. Sin embargo, la tecnología tiene todavía mucho recorrido. Las células solares más avanzadas actualmente, las células multiunión o células tándem en concentración, ya superan el 44 % de rendimiento aun cuando se basan todavía en el dispositivo semiconductor más elemental, el diodo. Nada impide, sin embargo, desarrollar, con ayuda de las nanotecnologías, otros conceptos más sofisticados como la nanofotónica, las nanoantenas, hilos y puntos cuánticos, rectificadores moleculares, etc. y conseguir en la práctica unos rendimientos efectivos del orden del 50 %. Por no cansar al lector con demasiados detalles técnicos, le remitimos a la figura 1 donde puede ver el progreso de la eficiencia correspondiente a las distintas líneas evolutivas de la diversidad de células solares que compiten en esta carrera. Hace poco se pensaba que, incluso en el caso de que su coste pudiera descender de forma significativa, la





**Fig. 3. Reactor MBE del  
IMM-CSIC**

implantación de la energía fotovoltaica en gran escala se vería siempre muy limitada por las enormes inversiones requeridas y la escasez de capitales disponibles como consecuencia de la crisis financiera.

Pero la realidad, tras haber transcurrido sólo un par de años, demuestra que estábamos equivocados. Por un lado, el precio real de los paneles fotovoltaicos en el mercado ha caído tanto, por motivos insospechados pero reales, que ya se ha alcanzado la mítica paridad de red. Obviamente, se entiende que la paridad de red a que nos referimos, es decir, la igualdad entre el coste del kWh producido por una instalación solar propia y lo que se paga por el kWh a la compañía eléctrica suministradora, corresponde a condiciones y costes de países con economías avanzadas como las de Europa, Estados Unidos o, tal vez, el nuestro.

Sin embargo, para los países en desarrollo y economías emergentes que, por cierto, en su mayoría están situados en una franja geográfica con unos niveles de radiación solar bastante más elevados y más constantes a lo largo del año

que en nuestras latitudes, este criterio de paridad, no por cumplirse con más margen, puede ser aceptado como el más significativo. Hay otros muchos factores a tener en cuenta cuando, por ejemplo, el problema es cómo abordar la progresiva electrificación de un país para dar cobertura a una población dispersa geográficamente o concentrada en ciudades muy extendidas, de rápido crecimiento y con edificación de baja altura. En este caso, la posibilidad de recurrir a la instalación de paneles y sistemas fotovoltaicos distribuidos en microrredes locales puede contribuir a aliviar la necesidad de crear nuevas y costosísimas redes eléctricas centralizadas de alto coste inicial y arriesgada financiación. Pero, además, se presenta una circunstancia completamente anómala: la fuente energética de origen es gratuita, está garantizada, es sostenible a largo plazo, no depende de los avatares de las importaciones ni de la economía y está distribuida ya, sin cables, de forma natural.

Por otro lado, las inversiones necesarias para su aprovechamiento también van a estar distribuidas y van a ser inicialmente limitadas para ir creciendo progresivamente

a medida que vaya aumentando el nivel económico de las poblaciones.

Se trata, pues, de lo que se vislumbra como un “Nuevo Paradigma Energético”, basado en la disponibilidad de una “Energía democrática”, no centralizada y que se podría financiar “democráticamente” mediante créditos directos al usuario final, un ciudadano o una empresa, propietarios de la instalación solar y, por tanto, con capacidad de control y responsabilidad sobre la inversión.

No es de extrañar, por tanto, el gran interés que ha despertado ya este modelo energético en algunos medios financieros, particularmente los de países con una desequilibrada balanza comercial exportadora y con sobreproducción de células solares; interés que coincide precisamente ahora con una superabundancia de dinero acumulado por un capitalismo de Estado que es capaz de generar la enorme capacidad de crédito requerida.

Ninguno de estos factores había sido tenido en cuenta por los que consideraban la energía solar como una utopía de futuro. Ni siquiera los mayores defensores de la globalización y de las ventajas de la libre competencia podían prever las consecuencias de esa globalización, no solo del comercio y de los medios de producción industrial, sino también de la I+D en tecnologías avanzadas. Si hace unos años se pensaba que los avances científicos y tecnológicos se desarrollarían siempre en los centros de investigación y empresas de Europa y Estados Unidos para que luego esas empresas establecieran su producción en países de mano de obra abundante y barata, resulta ahora que, particularmente en el campo de la microelectrónica de consumo, de las comunicaciones y de las células solares, la actividad de I+D se ha globalizado y desplazado también hacia el Oriente con las consecuencias que ya se están haciendo evidentes.

Es obvio ahora que la naturaleza del nuevo modelo energético es muy distinta de la que inspira el modelo ideal de negocio de las grandes compañías eléctricas en el que el consumidor es totalmente dependiente de un suministrador que suele ser propietario, a la vez, de la fuente energética, de la tecnología y de los medios de producción, distribución y gestión de la red mientras que el cliente es cautivo de su necesidad y está obligado a pagar los diezmos que establezcan los monopolios energéticos. De ahí que la energía solar haya tenido siempre mala prensa y sea todavía, para las masas y para los políticos, una hermosa utopía

de futuro, a pesar de la evidencia de sus posibilidades tecnológicas reales.

Por otro lado, está claro que, siendo realistas, no nos podemos hacer ilusiones. Como bien dicen algunos sabios amigos, hay que hacer números, y no es fácil hacerlos con sistemas tan grandes, tan complejos, tan interconectados y con tantos y tan imprevisibles actores (ya lo estamos viendo), como es la red mundial de suministro, distribución y consumo de energía.

En países en desarrollo los números resultan fácilmente positivos. La opción fotovoltaica distribuida junto a la hidráulica y la eólica parecen las más adecuadas para una producción sostenible que no requiera, al menos inicialmente, la instalación difícilmente financiable de cientos de discutidas centrales y unas redes de distribución muy costosas. Curiosamente, por tanto, el cambio de paradigma energético va a afectar, sobre todo, a los países y economías emergentes que van a tener ahora la ocasión de aprender (a la fuerza) de nuestros errores y plantearse unas políticas energéticas mucho más razonables.

En conclusión, la tecnología fotovoltaica solar está demostrando ser viable técnica y económicamente y a partir de ahora su contribución al nuevo paradigma energético va a depender, sobre todo, de factores sociales y de política económica muy ajenos al progreso imparable de la ciencia y tecnología. Los mismos factores que han sido culpables del injustificado retraso del desarrollo de la energía solar, parece que ahora le son favorables (2). **ROP**

#### Referencias

PV Status Report, 2013, Arnulf Jaeger-Waldau JRC, <http://iet.jrc.europa.eu/renewable-energies>

Global Trends in Renewable Energy Investment, 2013, <http://www.fs-unep-centre.org>

Energía España 2011, [http://www.minetur.gob.es/energia/es-ES/Documents/Energia\\_Espana\\_2011\\_WEB.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/es-ES/Documents/Energia_Espana_2011_WEB.pdf)