Capítulo MATERIALES S AVANZADOS





Extensión de las superficies de captación fotovoltaica

JULIO MIRAVALLS

En el año 2013, cuando prácticamente debutaba en escena el programa Horizonte 2020, iniciativa estelar de la Unión Europea para la innovación con decenas de miles de millones de euros en cartera, uno de los puntos de máxima incidencia eran los 'nuevos materiales'. Y en particular, el grafeno, las láminas de carbono bidimensionales (con sólo un átomo de grosor) con propiedades cuasi milagrosas, aplicables a los campos de la energía, fabricación de dispositivos informáticos mucho más eficientes, iluminación, superconductores, aleaciones metálicas superligeras y ultrarresistentes, nuevos desarrollos en el campo de la sanidad...

Pasados siete años, el desarrollo de aplicaciones prácticas del grafeno sigue sus pasos, de manera mayoritaria en los laboratorios, sin que ello apague la relevancia que han de tener los nuevos materiales en los desarrollos tecnológicos. No hay que olvidar que, de las llamadas tierras raras (17 elementos químicos), algunas de ellas intensivamente requeridas para la fabricación de múltiples dispositivos esenciales, las mayores reservas y capacidad de producción suponen casi un monopolio de China. La investigación en posibles materiales alternativos es imperativa.

La aplicación de nuevos materiales a la producción de energía, para mejorar en eficiencia y sostenibilidad medioambiental es uno de los grandes desafíos industriales. Especialmente en el desarrollo fotovoltaico. Para las células solares convencionales existe un límite físico en el rendimiento que pueden aportar. Es decir, en el porcentaje de la can-

tidad de luz que reciben que pueden convertir en energía. Para una placa normal de silicio, rondar el 17% o 18% está bastante bien.

Ese límite físico, llamado de Shockley-Queisser (Shockley inventó el transistor), prácticamente ha sido alcanzado ya en las células más eficientes. Se pueden comprar placas solares que rinden, en sus mejores momentos, hasta un 25%. Invertir en investigación y desarrollos con intención de mejorar las posibilidades de esta tecnología es muy costoso, para conseguir apenas una mínima diferencia favorable.

La clave es cómo reaccionan ante la luz los materiales de los que están construidas las placas. El Sol no envía a la Tierra luz de un solo color, sino un amplio espectro, con extremos invisibles, desde el ultravioleta hasta el infrarrojo. El silicio absorbe luz de onda larga, fotones que poseen una energía en torno a 1.1 electrón-voltio, pero a la vez es como un cristal transparente para los que transportan menos energía. Lo atraviesan y se pierden. Y tampoco consiguen las placas de silicio captar la energía de los fotones que llevan mayor carga, que sin atravesarlas se transforman en calor.

"La suma de ambas pérdidas son dos tercios del total de la energía lumínica" señala el veterano profesor Josef Michl, químico experto en la materia que sigue trabajando en la fisión singlete, en busca de rendimientos de hasta el 50% de la energía solar recibida. El proceso de la fisión singlete, típicamente orgánico, se basa en utilizar material molecular que "absorbe un fotón y entra en un estado de excitación directa. El estado de excitación tiene las

mismas propiedades de spin que el estado fundamental (el de más baja energía). A eso se le llama singlete, y su excitación se puede transferir de una molécula a otra y ser compartida por varias moléculas".

La estrategia se dirige a absorber los fotones con energías más altas y los de carga media, con dos láminas separadas en la placa, una con un material capaz de generar fisión singlete y otra de silicio normal, para multiplicar la captación.

Michl trabaja en una segunda cuestión, también muy relevante, para la fabricación de sus células solares: necesita encontrar materiales que sean eficientes en la captura y que no se deterioren rápidamente por el efecto de la luz solar, o el contacto con la atmósfera.

La mejora significativa del aprovechamiento de la energía solar pasa en todo caso por disponer de nuevos materiales fotoactivos (que reaccionan a la luz y desencadenan procesos generadores de energía), capaces de superar las limitaciones del silicio y multiplicar las capacidades de las placas. Investigaciones en los laboratorios de nanotecnología molecular proponen ir un paso más adelante: el reto de convertir toda clase de superficies en paneles solares, mediante esos materiales fotoactivos. El objetivo es modificar a nivel molecular los materiales para que cambien sus propiedades. Las células solares de tercera generación, basadas en polímeros, son plásticas, orgánicas y flexibles. Lo que permitiría 'pintar' células solares y sugiere la idea de una capa que puede convertir una pared, una carretera o una superficie cualquiera, en captadora de luz solar. De esta manera pueden ampliarse enormemente los espacios dedicados a la captación fotovoltaica.

Los avances en nanotecnología orientados a este campo también buscan nuevos materiales para crear paneles solares libres de silicio, con celdas solares orgánicas de baja temperatura.

EL PAPEL DE ESPAÑA

En España no se fabrican placas solares de manera industrial y masiva. Hay empresas que tratan de abrirse un hueco con iniciativas diferenciadas frente a la feroz competencia china, pero sobre toda la actividad en este campo se dedica a la instalación, ensamblaje de algunos componentes y mantenimiento. Y a la gestión de granjas fotovoltaicas, es decir a la explotación de la tecnología instalada.

Sin embargo, sí se están desarrollando procesos punteros de investigación, que podrían llevar directamente a la nueva generación de captadores de energía solar, más allá de los procesos basados en el módulo de silicio que todavía domina el mercado y seguirá haciéndolo en los años inmediatos. La puesta en escena de nuevos materiales que superen sus características es una gran oportunidad disruptiva para entrar con fuerza en un mercado en el que sólo somos clientes y usuarios.

La batalla se plantea en superar con nuevas tecnologías la eficiencia en las prestaciones de las placas convencionales, que podrán seguir abaratando precios, pero no librarse de las pesadas limitaciones que les impone la física en su rendimiento. •



ON DATOS EN LA MANO

#5 Nuevos materiales fotoactivos

ANDRÉS VALDÉS

Capturar la energía que genera la radiación solar en una oblea de silicio y transformarla en electricidad es una de las formas de producir energía más elegante y sostenible que ha ideado el ser humano. Hay algo muy inspirador en la posibilidad de impulsar nuestro progreso con la luz que emite y comparte nuestra estrella y que tal vez explique la popularidad y las esperanzas que rodean a la fotovoltaica. El ser humano ha encontrado en esta tecnología una oportunidad para sus propósitos y un poder inagotable, limpio y universal.

Estas aspiraciones abstractas surgen de las propiedades de materia inerte. Es la composición de minerales como el silicio, el cadmio, el indio o las perovskitas lo que determina la posibilidad y el estado de la tecnología fotovoltaica. Desde el descubrimiento del efecto fotovoltaico a finales del siglo XIX hasta la reciente creación de células solares de película fina, los avances han dependido de la capacidad de la ciencia para mejorar la conductividad de estos minerales y descubrir nuevos materiales. Son la piedra angular de la energía renovable con más proyección por inversión y aplicaciones. Hoy, el 2% de la electricidad global y el 5% de la europea se produce mediante células fotovoltaicas¹. En 2050, esta tecnología puede cubrir el 25% de toda la demanda eléctrica del mundo.

MÁS POTENCIA

La Agencia Internacional de la Energía cree que la fotovoltaica acaparará más de la mitad de los 1.200 GW de potencia en renovables que se instalarán en el mundo entre 2019 y 2024. La contribución al mix energético de esa industria podría crecer hasta el 75% si durante estos cinco años se cumple el compromiso de mantener el aumento de temperatura por debajo de dos

grados². Las proyecciones de la Agencia Internacional para las Energías Renovables (IRENA) usan ese mismo escenario de fidelidad al Acuerdo de París y estiman que en 2050 la fotovoltaica habrá multiplicado por diez su peso de 2016 en el mix de generación. Con 8.500 GW de potencia instalada, producirá una cuarta parte de la electricidad mundial. Un compromiso con la sostenibilidad futura que generará además inversiones de entre 160.000 y 190.000 millones de dólares³ anualmente. (Fig. 1)

Estas expectativas se basan también en la enorme tracción ganada durante la pasada década. En ese periodo, la fotovoltaica ha adelantado en recursos y capacidad a la energía eólica, líder tradicional del sector. Entre 2010 y 2019, recibió más financiación -1,3 billones de dólares frente a 1- y sumó más potencia -633 GW en paneles solares frente a 487 en aerogeneradores-4. Además, en 2018, empresas y gobiernos gastaron dos veces más en investigación y desarrollo de aplicaciones para fotoelectricidad que en tecnología vinculada a parques marinos y terrestres de viento⁵.

Una parte del sorpasso se explica por el interés de los grandes actores en fomentar las redes de generación solar distribuida. La Unión Europea, EE UU, India y Japón están despejando barreras legislativas y políticas para su desarrollo mientras que China, principal proveedor de energía y tecnología fotovoltaica, ha aprobado incentivos públicos para la industria con la meta de reducir el coste de producción del kilovatio hora e integrar la generación distribuida en su sistema. Oriente Medio y Latinoamérica se perfilan también

2 https://www.iea.org/reports/renewables-2019

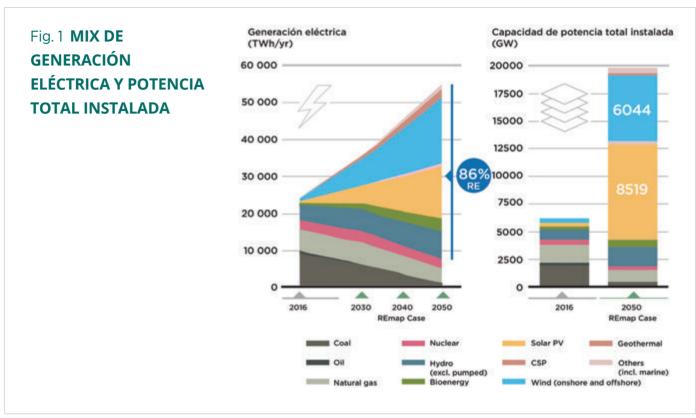
³ Irena, Future of solar Photovoltaic, nov. 2019.

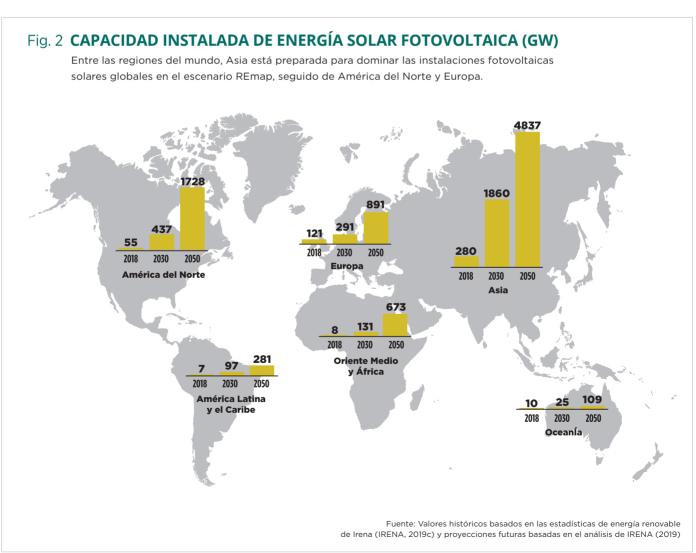
 $https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/Agency/Nov/IRENA/$

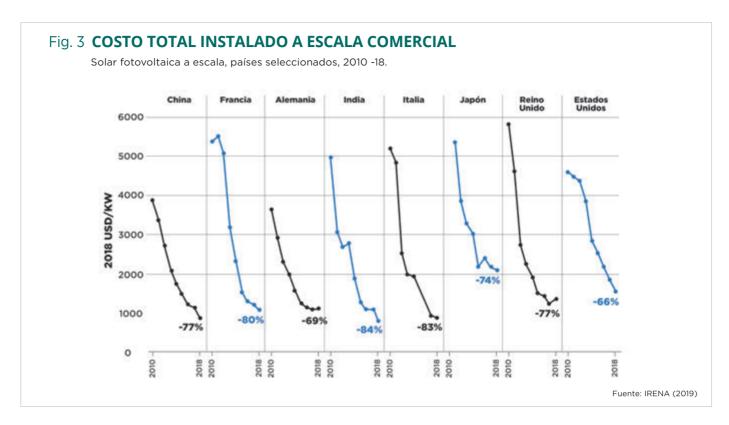
⁴ https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29752/GTR2019.

⁵ https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29752/GTR2019. pdf?sequence=1&isAllowed=y

¹ Agencia Internacional de la Energía. Tracking Power 2019 https://www.iea.org/reports/trackingpower-2019/solar-pv







como nuevos mercados. La AIE considera que estos países y regiones marcarán el paso del sector durante los próximos cinco años⁶. Sólo en 2020, se sumará una capacidad global similar a la que tiene todo el parque europeo, 142 GW⁷. (Fig. 2)

La Unión Europea, segunda potencia en energía fotovoltaica después de China, superó los 130 GW en 2019. Ese mismo año, la adjudicación mediante subasta de 4 GW y el viraje político hacia la transición energética, cerraron la etapa del impuesto al sol⁸ y convirtieron a España en el principal mercado continental tras once años prácticamente desaparecida del negocio. En 2020, vuelve a estar entre los cinco países europeos con mayor despliegue en la instalación de paneles solares⁹.

MÁS ALLÁ DEL SILICIO

Este optimismo es fruto de la madurez que han alcanzado los sistemas basados en paneles de silicio mono y policristalino. Si estos paneles azulados se distinguen en campo abierto y tejados de medio mundo es porque las células de este mineral han multiplicado su

eficiencia en los últimos 20 años hasta lograr convertir en electricidad entre el 14 y 21% de la luz recibida. En los laboratorios de todo el mundo, donde se ensayan otros materiales y se continúan generando nuevos records de eficiencia, la llamada primera generación de células fotovoltaicas copa el 80%¹º del mercado mundial, porcentaje que algunos estudios expanden hasta el 95%¹¹ de los productos en venta.

Con estas tasas de eficiencia, la fabricación de células de silicio se ha disparado y con ella el cumplimiento de la Ley de Swanson: por cada aumento del 100% en la venta de paneles, su precio baja un 20% y con él el coste promedio de producción de electricidad. IRE-NA prevé que el 80% de las instalaciones que entren en funcionamiento en 2020 generen ya energía a un coste menor que las opciones más baratas de combustibles fósiles¹². A este ritmo, el kilovatio/hora solar alcanzará a mediados de siglo un coste global medio de entre 0,05 y 0,01 dólares¹³. (Fig. 3)

Los esfuerzos en I+D continúan para superar la efi-

⁶ Agencia Internacional de la Energía. Tracking Power 2019 https://www.iea.org/reports/tracking power-2019/solar-pv

⁸ https://unef.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2019/09/memoria_unef_2019-web.pdf

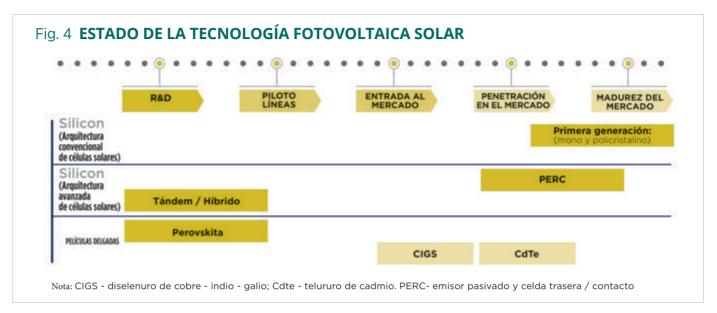
⁹ Solar Europe. EU Market Outlook (2019)

¹⁰ Gul, M.; Kotak, Y.; Muneer, T. Review on recent trend of solar photovoltaic technology. Energy Explor. Exploit. 2016, 34, 485–526.

¹¹ https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf

 $^{12\} https://elperiodicodelaenergia.com/las-renovables-mantienen-su-imparable-caida-de-costes-la-fotovoltaica-ya-esta-por-debajo-de-los-tres-centavos-de-dolar-por-kwh/$

 $^{13\} https://www.pv-magazine.com/2019/11/13/irena-predicts-lcoe-of-solar-will-drop-to-0-01-0-05-by-mid-century/$



ciencia de generación fotovoltaica. Las mejoras en la tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell), que permiten aprovechar la luz infrarroja en células de silicio, han logrado eficiencias en pruebas ligeramente superiores al 24%¹⁴. A la vez, los paneles bifaciales, diseñados para recoger el albedo o rebote de luz en tierra, ganan en cuota de mercado y podrían introducir este año el 20% de los módulos basados en este mineral y el 40% a finales de década¹⁵. Las estructuras híbridas o en tándem que combinan el silicio con polímeros u otros materiales como las perovskitas prometen (ya que todavía no son una realidad comercial)¹⁶ que sus prestaciones pueden mejorar notablemente, tanto en eficiencia como en vida útil del panel, aunque su complicada fabricación las mantiene fuera del circuito comercial. (Fig. 4)

La segunda tipología de células abandona el silicio y ensaya otros minerales. Más versátiles y baratas aunque menos eficientes¹⁷, se engloban bajo la denominación células de película fina y ocupan, según algunos analistas, alrededor del 20% del mercado¹⁸. Su flexibilidad las hace especialmente interesantes para la fotovoltaica integrada en la edificación. Las celdas basadas en teluro de cadmio (CdTe) son las más conocidas por los instaladores, seguidas de las llamadas CIGS (cobre,

indio, galio y selenio). Ofrecen, en su versión comercial, rangos de eficiencias de entre el 9,4–13,8% y el 11–18,7% respectivamente. Pese a que su capacidad de transformar la radiación solar ha superado el 21% en laboratorio, la escasez y rareza de algunos de estos minerales compromete la viabilidad de la tecnología¹⁹.

Más prometedor parece el futuro de las celdas solares basadas en las perovskitas, que han subido en pocos años de un rendimiento inicial del 4% a rozar el 25%, cerca del récord del silicio en laboratorio del 27%.²⁰ Es abundante y permite distintos diseños de panel. Sólo su fragilidad le impide, por ahora, ver la luz del sol y transformarla en una realidad comercial atractiva.

En cualquier caso, este ámbito tecnológico representa una oportunidad indudable para España, ya que somos unos de los países de Europa con más horas de sol. Constituye, además, un factor para superar la dependencia energética que lastra la economía y condiciona las relaciones internacionales, así como un trampolín para cumplir los objetivos de transición energética. Las empresas, las universidades y el gobierno lo saben y por ello participan en investigación solar desde sus ámbitos o de forma conjunta, destacando como centros de referencia el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), de carácter público, o el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), en cuyo patronato participan varios ministerios, el Gobierno de Navarra y el propio Ciemat. •

¹⁴ https://www.pv-magazine.com/2019/01/17/perc-cell-efficiency-records-tumble/

¹⁵ https://pv.vdma.org/documents/105945/26776337/ITRPV%20Ninth%20Edition%202018%20 including%20maturity%20report%2020180904_1536055215523.pdf/a907157c-a241-eec0-310d-fd76f1685b2a

¹⁶ https://www.pv-magazine-latam.com/2018/08/13/el-32-de-las-celulas-solares-en-tandem-seguiran-siendo-competitivas-incluso-si-su-precio-triplica-el-de-las-convencionales/

¹⁷ Tiantian Zhang, Meng Wang and Hongxing YangA Review of the Energy. Performance and Life-Cycle Assessment of Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems. Nov. 2018

¹⁸ Gul, M.; Kotak, Y.; Muneer, T. Review on recent trend of solar photovoltaic technology. Energy Explor. Exploit. 2016, 34, 485–526.

¹⁹ iden

²⁰ https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf