

# REVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: DEL SILICIO A LA PEROVSKITA

A. Christian Gómez-Téllez a, Jaquelina Camacho-Cáceres b, Dulce K. Becerra-Paniagua c, Carlos F. Arias-Ramos b, Hailin Zhao Hu b.

a Universidad Tecnológica Emiliano Zapata, b Instituto de Energías Renovables, UNAM, c Instituto de Química UNAM.cInstituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas

## INTRODUCCIÓN

El ser humano constantemente busca mejoras y cambios, estos pueden aplicarse para sustituir materiales, crear nuevos procesos o simplemente en las condiciones de nuestro entorno. Estas transformaciones, creaciones y sustituciones generan un impacto en las personas, su historia y el medio ambiente. Tal es el caso de la energía eléctrica, que actualmente es fundamental para nuestras actividades diarias, partiendo desde lo más básico en los hogares como la plancha, la licuadora, la lavadora, etc.; hasta su utilización en el alumbrado de las ciudades más grandes, el funcionamiento de la industria, nuestros vehículos, telecomunicaciones, entretenimiento, entre muchas otras.

## UN POCO DE HISTORIA....

La historia de la electricidad se remonta al siglo VI cuando el filósofo griego Tales de Mileto descubrió la electricidad estática (del griego “elektron” cuyo significado en español es ámbar), él observó que al frotar un trozo de ámbar este era capaz de atraer pequeñas partículas. A finales del siglo XIX la energía eléctrica se extiende hasta las calles y casas, provocando con esto su producción masiva abriendo paso a un gran avance tecnológico que perseguía como principal objetivo el bienestar de la comunidad, al proveer facilidades y seguridad.

Con el paso del tiempo la población mundial aumento y con ello también la demanda eléctrica, ocasionando un incremento de costos y de daño al medio ambiente por efecto de la quema de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo). La dependencia de estos combustibles fósiles es hoy un tema crucial para el medio ambiente, ya que el abuso en su uso es hoy una de las principales causas de la emisión de gases de efecto invernadero y con ello del calentamiento global, contaminación del aire, agua, entre otros. Con una participación actual del 81% de los combustibles fósiles en el mercado energético mundial es evidente la demanda tan exigente que hay de ellos, lo que ha provoca su extracción desmedida, acercándonos cada vez más a su agotamiento progresivo e irreversible. (IEA, 2011)

## ENERGÍAS RENOVABLES “ELECTRICIDAD VERDE”

Con la demanda energética y problemas ambientales en continuo crecimiento surge el cambio de paradigma para la generación de energía eléctrica, detonando la búsqueda de fuentes alternativas limpias, lo que actualmente se conocen como energías renovables. Entre la mezcla de diferentes fuentes de energía renovables existen: la energía eólica (obtenida del viento), la geotérmica (obtenida del calor interno de la tierra), la hidráulica (obtenida de corrientes de agua), el mareomotriz (obtenida de los movimientos del mar), etc.; entre las diversas energías renovables durante los últimos años la energía solar fotovoltaica ha destacado sobre ellas.

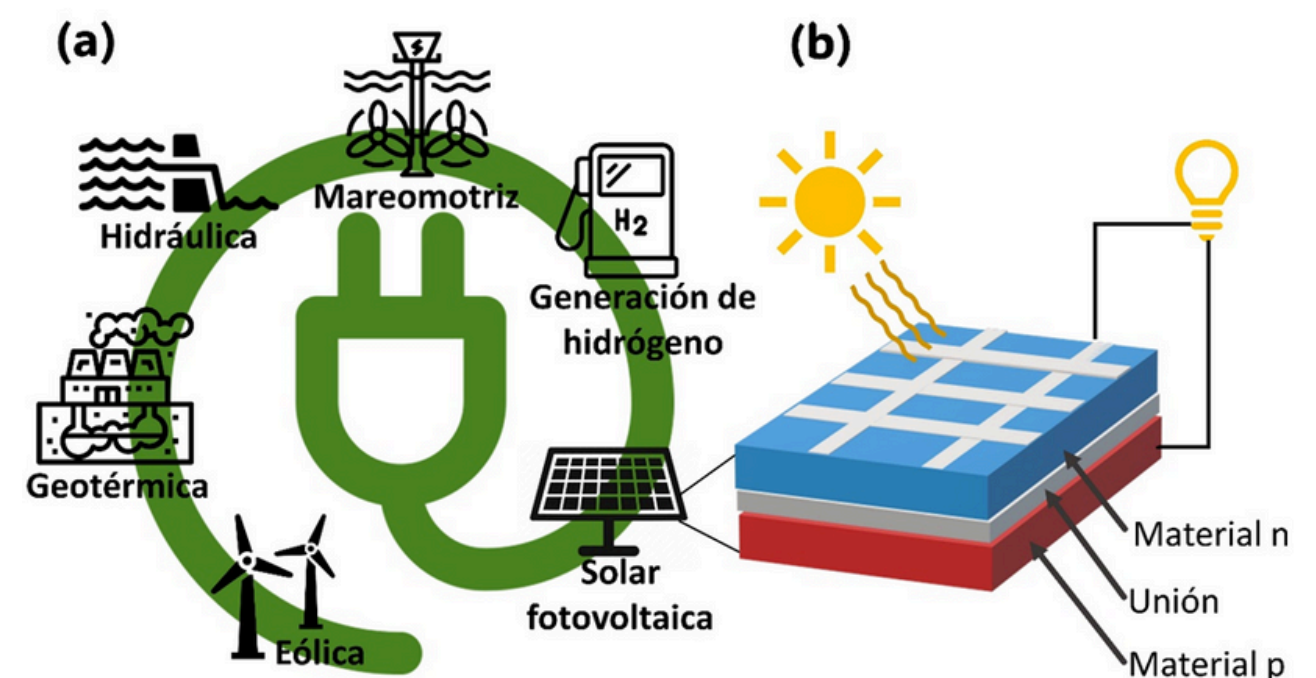


Figura 1. a) Matriz De Energías Renovables. b) Diagrama de funcionamiento de energía solar fotovoltaica..

## ¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR SOTOLTAICA?

La energía solar fotovoltaica es la que transforma la energía proveniente de la luz solar en energía eléctrica a partir de las celdas solares fotovoltaicas, la conjunción total de varias celdas solares ubicadas en orden una tras otras forma un panel solar fotovoltaico (Acciona, 2021). La primera celda solar fotovoltaica se desarrolló en los laboratorios Bell donde sucedió el hallazgo y casi inmediatamente notaron que el silicio podía llegar a ser un semiconductor eficiente.

La primera celda solar fotovoltaica se desarrolló en los laboratorios Bell donde sucedió el hallazgo y casi inmediatamente notaron que el silicio podía llegar a ser un semiconductor eficiente. Fue entonces que, en 1954 Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin y Calvin S. Fuller crearon una celda solar con este material que alcanzó una eficiencia del 6%. (Duran, 2018) Las celdas solares son una serie de capas subsecuentes de materiales los cuales en conjunto son capaces de generar la energía fotovoltaica. Al incidir la luz solar sobre una de las caras de la celda se produce la excitación y salto de algunos electrones de una capa a otra que será capaz de extraer estos electrones, generando así la corriente eléctrica.

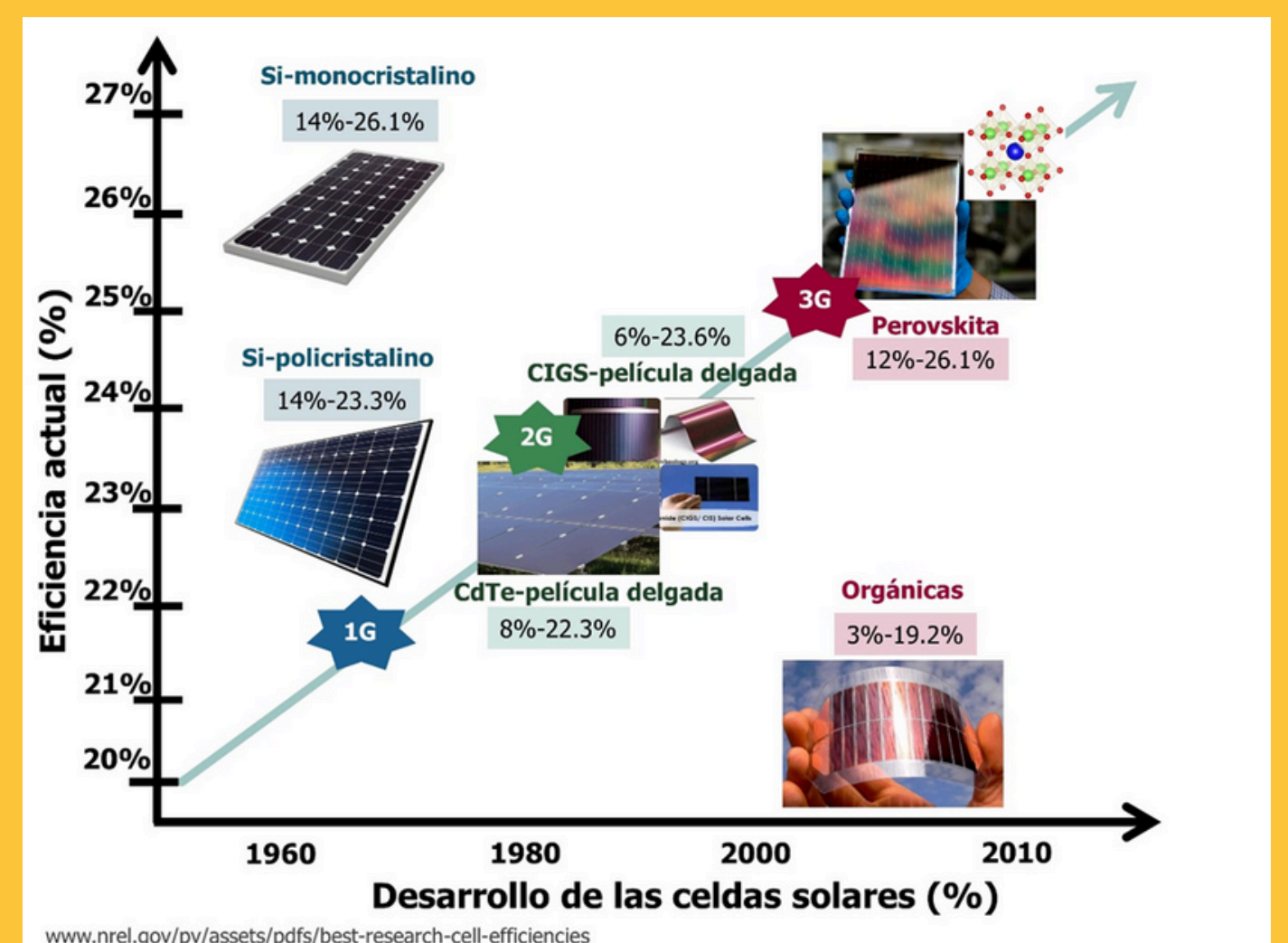
La energía solar fotovoltaica depende del recurso solar que es virtualmente inagotable, gratuito y posee 10,000 veces la tasa de consumo de energía del humano, además de estar disponible en la mayoría de las zonas habitadas. Actualmente, la energía solar fotovoltaica es por mucho la tecnología de generación eléctrica líder en el mundo, representando el 2.7% de la electricidad generada con miras a tener una participación de hasta el 30% del mercado energético mundial. Gracias a la generación eléctrica a partir de celdas fotovoltaicas, por primera vez en la historia la producción de eléctrica en plantas de carbón ha decaído un 3%, con una tendencia a operar con menos frecuencia. Convirtiéndose en la tecnología más barata para la producción de energía eléctrica inclusive por debajo de las que emplean combustibles fósiles, esto en gran parte debido a que los procesos de fabricación y las economías a escala han permitido la reducción de precios de hasta un 61%, Dando pauta a pensar que las investigaciones en esta área deben continuar, estimando que este camino podría llevarnos a la generación de energía de una manera limpia y respetuosa con el medio ambiente. El proceso lógico es innovar con diferentes materiales enfocados a hacerlos más resistentes, durables, y eficientes. Por supuesto, también es deseable que los procesos para obtenerlos sean lo menos costosos posible y que las sustancias para generarlos sean abundantes en nuestro planeta.

## EL SILICIO

Las diferentes propiedades de los materiales nos indican si este es apto o no para formar parte de una celda solar, a lo largo del tiempo se han identificado diversos materiales como posibles candidatos para ser empleados en esta área, sin embargo, desde el inicio el silicio ha destacado como material con propiedades fotovoltaicas prometedoras. El silicio es el elemento electropositivo más abundante, además es un semiconductor con propiedades físicas y químicas excelentes para aplicaciones fotovoltaicas.

Para comprender el funcionamiento de una celda solar se tiene que entender el concepto de semiconductor. Así como hay semicírculos, semiautomático, semiabierto... hay materiales semiconductores. Todos los materiales poseen fuerzas eléctricas que son las responsables de la formación de átomos y moléculas en los sólidos. Es por ello, por sus propiedades eléctricas que los sólidos se clasifican como conductores, semiconductores y aislantes. Los semiconductores se encuentran en medio, no son aislantes, tampoco conductores, sin embargo, si presentan una conductividad eléctrica, que, a diferencia de los conductores, aumenta al calentarse.

Existen dos tipos de silicio aplicables a las celdas solares, el silicio monocristalino el cual se obtiene a través de un complejo proceso que elimina impurezas permitiendo tener láminas delgadas con una alta pureza, esto contribuye a tener un gran rendimiento en una celda solar gracias a su alta capacidad para absorber la luz solar favoreciendo el efecto fotovoltaico. Por otra parte, está el silicio policristalino, el cual, en comparación con el anterior tiene un proceso más simple que implica la creación de un bloque de silicio que posteriormente se corta en láminas de bordes con ángulos rectos, al ser un proceso más simple su costo más bajo y esto se ve reflejado en el mercado, pero también implica una disminución en su rendimiento, a diferencia del monocristalino, este es utilizado para instalaciones eléctricas menores. (Albasolar, 2021)



**Figura 2.** Evolución con el tiempo del desarrollo de las celdas solares

A lo largo del tiempo esta necesidad de mejora constante nos ha conducido a la modificación de las celdas solares, por lo que se han marcado generaciones en estas. La primera generación se basa en dos obleas de materiales semiconductores a las que se les agregaban impurezas o dopantes, los cuales son elementos químicos añadidos con la finalidad de crear una fuerza para que a una de las placas tenga un exceso de electrones cargada negativamente (N) y la otra tenga escasez de estos cargada positivamente (P), creando una unión P-N que genera un campo eléctrico con una barrera de potencial que impide que los electrones se muevan en cualquier dirección entre placas, en esta generación se marcó una tendencia en la utilización del silicio. (Solar Energía, 2015)

No obstante, la investigación continuó y la segunda generación tenía como objetivo crear láminas más flexibles y delgadas, por lo que les da el nombre de láminas delgadas, y llegaron a obtener una eficiencia entre 28% y 30%, sin embargo, su elevado costo las limita a sectores como la aeronáutica espacial. (Solar Energía, 2015)

#### LA PEROVSKITA HÍBRIDA

Durante mucho tiempo el silicio ha sido el material líder para la creación de celdas solares, sin embargo, recientemente se ha tenido un hallazgo único, un material que es capaz de igualar o incluso superar al silicio siendo más barato y con mejor rendimiento, eso es lo esperado de la Perovskita híbrida.

Originalmente la perovskita es un mineral compuesto por Titanato de Calcio ( $\text{CaTiO}_3$ ) descubierto en los montes Urales de Rusia por el mineralogista y químico alemán Gustav Rose en 1839, pero nombrado en honor al dignatario mineralogista y oficial militar ruso Alexeievich Perovski. (Alvarado Flores, 2017). Este es el origen del nombre, actualmente todas las sustancias que conservan la misma estructura en su fórmula química  $\text{ABX}_3$  se le consideran materiales tipo perovskita, dando origen a una familia entera de nuevos materiales. Algunos de estos materiales presentan comportamientos interesantes en términos de propiedades ópticas y eléctricas, tal es el caso de la perovskita híbrida que está formada por la combinación de materiales orgánica e inorgánica. Dentro de ellas una de las más utilizadas como base para celdas solares es el yoduro de plomo metilamonio o  $\text{MAPbI}_3$ , donde el MA simboliza un anión orgánico llamado metilamonio ( $\text{CH}_3\text{NH}_3^-$ , podría ser también formamidinio o mezcla de ambos), mientras que el resto de la molécula está formada por Plomo (que puede ser también estaño), y uno o más halógenos en forma de ion ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  o  $\text{I}^-$ ) y estos son inorgánicos. Este material tiene una gran capacidad de absorber la luz y aún con espesores de menos de 1 micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) puede captar la misma cantidad de luz solar que otros tipos de celdas solares.

La primera celda solar de perovskita híbrida que se realizó tenía la estructura de una celda solar sensibilizada por colorante (DSSC). Esta estructura consistió en una capa de  $\text{TiO}_2$  a la cual se le depositó el  $\text{MAPbI}_3$  sobre esa capa inmersa en un electrolito líquido. La perovskita se suponía que actuaría solo como absorbente de luz, y así sucedió, pero esta celda solo duró tres minutos pues la perovskita híbrida se disolvió por el electrolito. Sin embargo, inmediatamente los científicos notaron todo el potencial de este material, pues se obtuvo una sorprendente eficiencia de 3.81% (Miyasaka et al., 2009)

Este descubrimiento marcó el inicio de una esperanzadora revolución en las celdas solares. Ya para 2011 se reportó 6.54% de eficiencia utilizando una celda solar sensibilizada de  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ , es decir, en dos años la eficiencia se había duplicado. A pesar de tener buenos resultados y presentar una buena eficiencia, esta perovskita se seguía desintegrando en la solución de electrolito en menos de 10 minutos, mostrando que este material no era apto para largas jornadas. Posteriormente para evitar la disolución de la perovskita en el electrolito se utilizó un electrolito de estado sólido, Spiro-OMeTAD. Esto resultó en una eficiencia de 9.7% y los dispositivos conservaron alrededor del 80% de su estabilidad inicial durante 500 horas (Manjunath et al., 2018). Hoy a tan solo 14 años del hallazgo de la perovskita híbrida aplicada en celdas solares se ha generado una nueva clasificación de celdas solares a base de perovskita híbrida, que ha detonado en cientos de investigaciones alrededor de todo el mundo disparando la eficiencia récord de este tipo de dispositivos situada en 26.1% de acuerdo con el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL, por sus siglas en inglés) pero aún queda un camino largo por recorrer.

Hoy en día las celdas solares a base de perovskita híbrida se comparan con las celdas de silicio, con la diferencia de que llevar las celdas de silicio a ese punto costó casi 70 años, mientras que con la perovskita lo hemos logrado en solo 14 años. Dejando ver que no solo es un material prometedor, sino que también nos muestra cuanto ha aprendido la comunidad científica en torno a este tema a lo largo de estos años. Pero ¿qué depara el futuro para las celdas solares? Actualmente se están fabricando celdas combinando ambos materiales, perovskita y silicio, lo que ha llevado a resultados mucho mejores, logrando eficiencias por encima de 33%, sin embargo, aún hay mucho por investigar en este sentido.

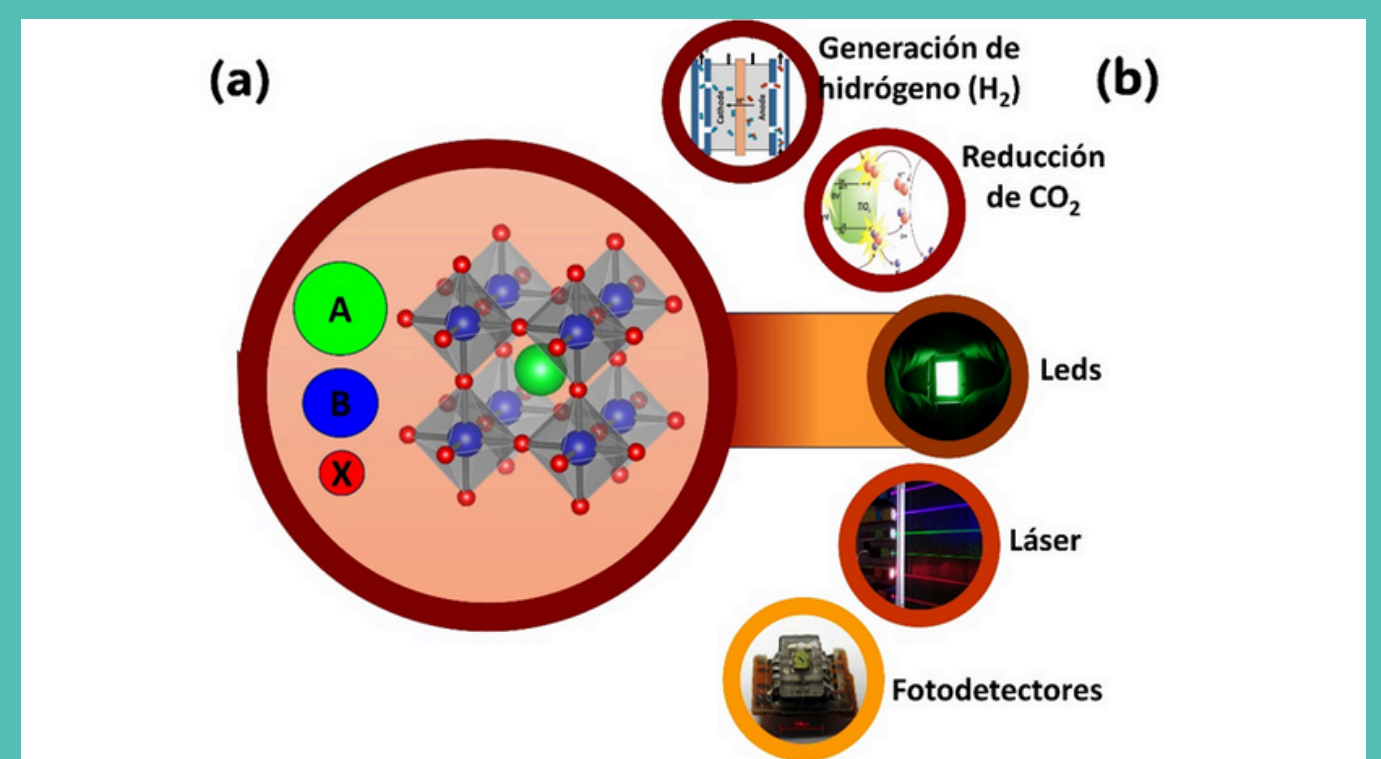


Figura 3. a) Estructura de perovskita, b) Aplicaciones de

## CONCLUSIONES

La perovskita es una alternativa más barata, y en muchos sentidos uno de los materiales más prometedores con los que se ha topado últimamente la humanidad, pues se ha comenzado a utilizar como catalizador en procesos para la obtención de hidrógeno (H<sub>2</sub>) mediante la fotólisis del agua y para la obtención de metano mediante la reducción del CO<sub>2</sub>, por otra parte, también se trabaja con los leds basados en perovskita estos se hacen interesantes, ya que pueden emitir una luz a través de todo el espectro visible e infrarrojo, además, según algunas investigaciones la perovskita puede generar luz láser. La sensibilidad de este material en algunos ambientes puede aprovecharse y no solo verse como una desventaja, ya que puede utilizarse para generar sensores, pues sirve como sensor de humedad o de gases, que al ser adsorbidos en su superficie producen cambios en su conductividad (Rocío García-Aboal, 2020). Existen otras aplicaciones como memristores y fotodetectores, que nos permiten aprovechar propiedades como la histéresis del material o su espectro de absorción en el rango de la luz visible. Estas son solo unas aplicaciones encontradas hasta el momento, lo que nos hace pensar que sin duda estaremos escuchando de la perovskita por muchos años. Y tal vez en el futuro se convierta en una de las principales fuentes de obtención de energía de la humanidad.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de doctorado otorgada a Jaquelina Camacho Cáceres.

## REFERENCIAS

- Acciona. (2021). Energía solar fotovoltaica y su contribución | ACCIONA | Business as unusual. [https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894)
- Albasolar, R. (2021, 30 diciembre). Silicio monocristalino y policristalino: diferencias. Albasolar. Recuperado mayo de 2022, de <https://albasolar.es/silicio-monocristalino-y-policristalino-diferencias/>
- Alvarado Flores, J. J. (2017). Análisis de la estructura perovskita  $\text{LaxSr1-xCryMn1-yO3-\delta}$  con potencial aplicación como ánodo para celdas de combustible de óxido sólido. Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 56(2), 73–82. <https://doi.org/10.1016/J.BSECV.2016.09.003>
- A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, T. Miyasaka. Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. J Am Chem Soc. 2009;131(17). <https://doi.org/10.1021/ja809598r>
- Duran, E. O. Historia, Desarrollo y Actualidad de las Celdas Solares. 1(2), 17-18. [https://www.researchgate.net/profile/Esteban-Ojeda-Duran/publication/349642922\\_Historia\\_Desarrollo\\_y\\_Actualidad\\_de\\_las\\_Celdas\\_Solares/links/6039ca12a6fdcc37a855a1b3/Historia-Desarrollo-y-Actualidad-de-las-Celdas-Solares.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Esteban-Ojeda-Duran/publication/349642922_Historia_Desarrollo_y_Actualidad_de_las_Celdas_Solares/links/6039ca12a6fdcc37a855a1b3/Historia-Desarrollo-y-Actualidad-de-las-Celdas-Solares.pdf)
- García Aboal, R., Fenollosa, R., Ramiro Manzano, F., Rodríguez, I., Meseguer, F., & Atienzar, P. (2020). PEROVSKITAS HÍBRIDAS Y SUS APLICACIONES. PEROVSKITAS HÍBRIDAS Y SUS APLICACIONES, 1(2), 1–2. <http://www.upv.es/contenidos/ENCDOC/info/U0819713.pdf>
- IEA International Energy Agency, 2011. Key World Energy Statistics. <http://www.iea.org>.
- Manjunath, V., Krishna, R., Maniarasu, S., Ramasamy, E., Shanmugasundaram, S., & Veerappan, G. (2018). Perovskite Solar Cell Architectures. Perovskite Photovoltaics: Basic to Advanced Concepts and Implementation, 89–121. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812915-9.00004-6>
- Sahoo, S. K., Manoharan, B., & Sivakumar, N. (2018). Introduction: Why Perovskite and Perovskite Solar Cells? Perovskite Photovoltaics: Basic to Advanced Concepts and Implementation, 1–24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812915-9.00001-0>
- Solar Energía. (2015). ¿En qué consisten las generaciones de los Paneles Solares? | Paneles solares. <https://solarenergia.mx/productos/en-que-consisten-las-generaciones-de-lospaneles-solares/>
- Wang, B., Xiao, X., & Chen, T. (2014). Perovskite photovoltaics: a high-efficiency newcomer to the solar cell family. Nanoscale, 6(21), 12287–12297. doi:10.1039/c4nr04144e