

# ENERGÍA SOLAR EN EL DESIERTO DE ATACAMA

## Tecnologías solares fotovoltaicas: tipos y clasificaciones

### Parte 2

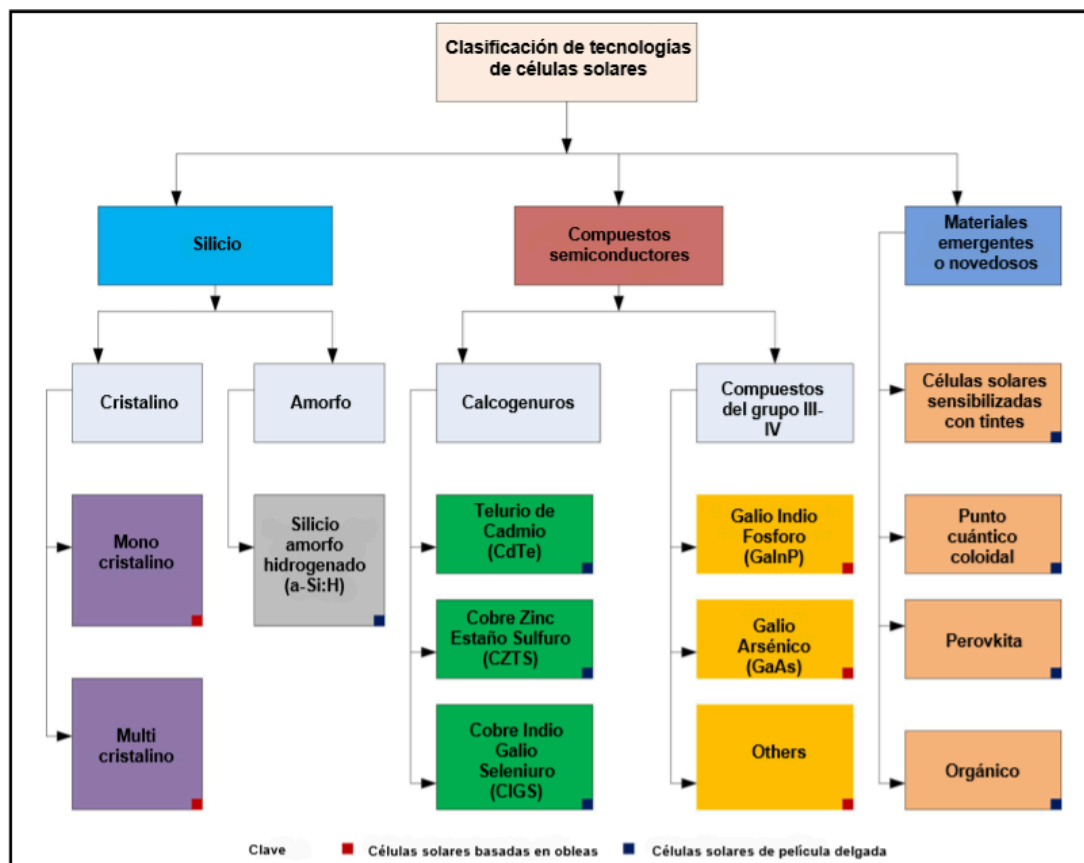
AGOSTO 2023

### 1. Introducción

La conversión de energía solar fotovoltaica se fundamenta en el principio de que cuando una célula solar es expuesta a la luz solar, produce electricidad mediante el efecto fotoeléctrico, un proceso que convierte la luz, o fotones, en electricidad. Varios factores influyen en este proceso, incluyendo el tipo de material utilizado en la célula solar, como el silicio o compuestos semiconductores, así como el tamaño de la célula, donde tamaños más grandes pueden generar voltaje o corriente adicionales. La intensidad y calidad de la fuente de luz solar son también determinantes en la cantidad de electricidad generada. Por lo tanto, las células solares que componen los paneles fotovoltaicos se suelen categorizar según los materiales activos utilizados en las células solares o las estructuras generales del dispositivo.

### 2. Clasificación de células solares en función del material activo

En términos de estructura y arquitectura del dispositivo, los fotovoltaicos se clasifican en tecnologías basadas en obleas y películas delgadas, como se muestra en la Fig.1. (Ibn-Mohammed et al., 2017)



Fuente. Fig. 1. Clasificación de células solares en función del material activo primario (adaptada al español en base a figura citada por Ibn-Mohammed et al., 2017).

## 2.1. Células solares basadas en obleas

Actualmente, existen tres células solares basadas en obleas, a saber: i) silicio cristalino (c-Si); ii) arseniuro de galio (GaAs); iii) Multiunión III-V (MJ).

### 2.1.1. Silicio cristalino (c-Si)

Las tecnologías fotovoltaicas han estado dominadas por el uso de silicio, con las células solares de silicio cristalino basado en obleas (c-Si), siendo las más populares debido a su eficiencia constante en la conversión de la luz solar en electricidad. Estas células han aprovechado décadas de experiencia en fabricación, contando con una sólida base tecnológica que abarca materiales, procesos de producción y diseños de dispositivos bien establecidos. En la actualidad, la investigación se enfoca en reducir los costos y la complejidad en la producción de células solares basadas en obleas, mejorar las eficiencias de conversión, disminuir la cantidad de silicio generado y reducir la dependencia de la plata en los procesos de metalización por contacto. (Goodrich et al., 2013; Jean et al., 2015).

### 2.1.2. Arseniuro de galio (GaAs)

El arseniuro de galio presenta notables ventajas técnicas en comparación con el silicio, ya que permite que los electrones se desplacen más rápido a través de su estructura cristalina. Este semiconductor de tipo III-V, es particularmente adecuado para efectos fotoeléctricos debido a su alta capacidad de absorción óptica y una pérdida de energía no radiativa muy baja (Jean et al., 2015). Estas características hacen del GaAs un material altamente prometedor para la fabricación de células solares, que pueden lograr eficiencias hasta el doble de las obtenidas con el silicio (Miles, 2006). De hecho, las células solares basadas en GaAs tienen el récord de eficiencia en la conversión de la luz solar en electricidad, alcanzando eficiencias de conversión de energía del 28,8% y 24,1% en células y módulos de laboratorio, respectivamente (Kazmerski et al., 2010). Sin embargo, una desventaja significativa del arseniuro de galio es su alto costo de producción en comparación con el silicio, donde fabricar una oblea de GaAs puede costar alrededor de £ 3000, en contraste con solo £ 3 por una oblea de silicio. Esto limita su uso a aplicaciones específicas, como las comunicaciones espaciales, donde se requieren eficiencias más altas, mayor resistencia a la radiación y una mejor relación potencia/peso (Miles, 2006).

### 2.1.2. Multiunión III-V (MJ)

La investigación ha señalado que es teóricamente posible lograr una notable mejora en la eficiencia de conversión en dispositivos de unión única III-V. Por lo tanto, los principales esfuerzos en esta área se han centrado en dispositivos de células solares multiunión (MJ). Se han logrado eficiencias récord sin precedentes en celdas solares y módulos, alcanzando un 36,7%, bajo radiación concentrada (Kazmerski et al., 2010). Sin embargo, estos dispositivos son costosos de fabricar debido a la complejidad y a los materiales extremadamente caros involucrados. Esto hace que sean prohibitivamente costosos para aplicaciones a gran escala en la Tierra. Por lo tanto, su uso se restringe principalmente al exigente entorno del espacio, donde su alta resistencia a la radiación, alta eficiencia y baja sensibilidad a la temperatura ayudan a mitigar los altos costos de materiales.

## 2.2. Células solares de película delgada

Las principales células solares comerciales de película delgada incluyen: i) silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H); ii) telurio de cadmio (CdTe) y iii) cobre indiodiseleniuro de galio (CIGS).

Estos materiales tienen una capacidad de absorción de luz entre 10 y 100 veces más eficiente que las células solares basadas en silicio, lo que permite la producción de películas extremadamente delgadas, del orden de unas pocas micras. Una ventaja clave de estas tecnologías radica en su uso eficiente de materiales y procesos de fabricación simplificados. Las fábricas modernas pueden producir módulos de película delgada de manera simplificada y automatizada, lo que resulta en costos más bajos por unidad. Además, son más manejables y resistentes que las células solares de silicio.

Sin embargo, su principal desventaja es su rendimiento promedio comparativamente bajo, que oscila entre el 12% y el 15%, en contraste con las células de silicio que alcanzan entre el 15% y el 21% de eficiencia. También dependen de elementos raros como el telurio y el indio, además de involucrar el reciclaje de elementos tóxicos como el cadmio, lo que podría limitar su capacidad de producción a gran escala y su despliegue. Las oportunidades de innovación en la tecnología de película delgada incluyen mejoras en la eficiencia de los módulos, optimización de materiales y avances en la estructura celular. En general, es relevante reducir la dependencia de elementos raros mediante el desarrollo de nuevos materiales con procesos de fabricación similares (Ibn-Mohammed et al., 2017).

### **2.3. Células solares de película delgada emergentes o novedosas**

Las células solares de película delgada emergentes o innovadoras, que están ganando relevancia, incluyen varias tecnologías: i) Sulfuro de cobre, zinc y estaño (CZTS); ii) Perovskita (PSC); iii) Energía fotovoltaica orgánica (OPV); iv) Células solares sensibilizadas por colorante (DSSC); y v) Energía fotovoltaica de puntos cuánticos coloidales (QDPV).

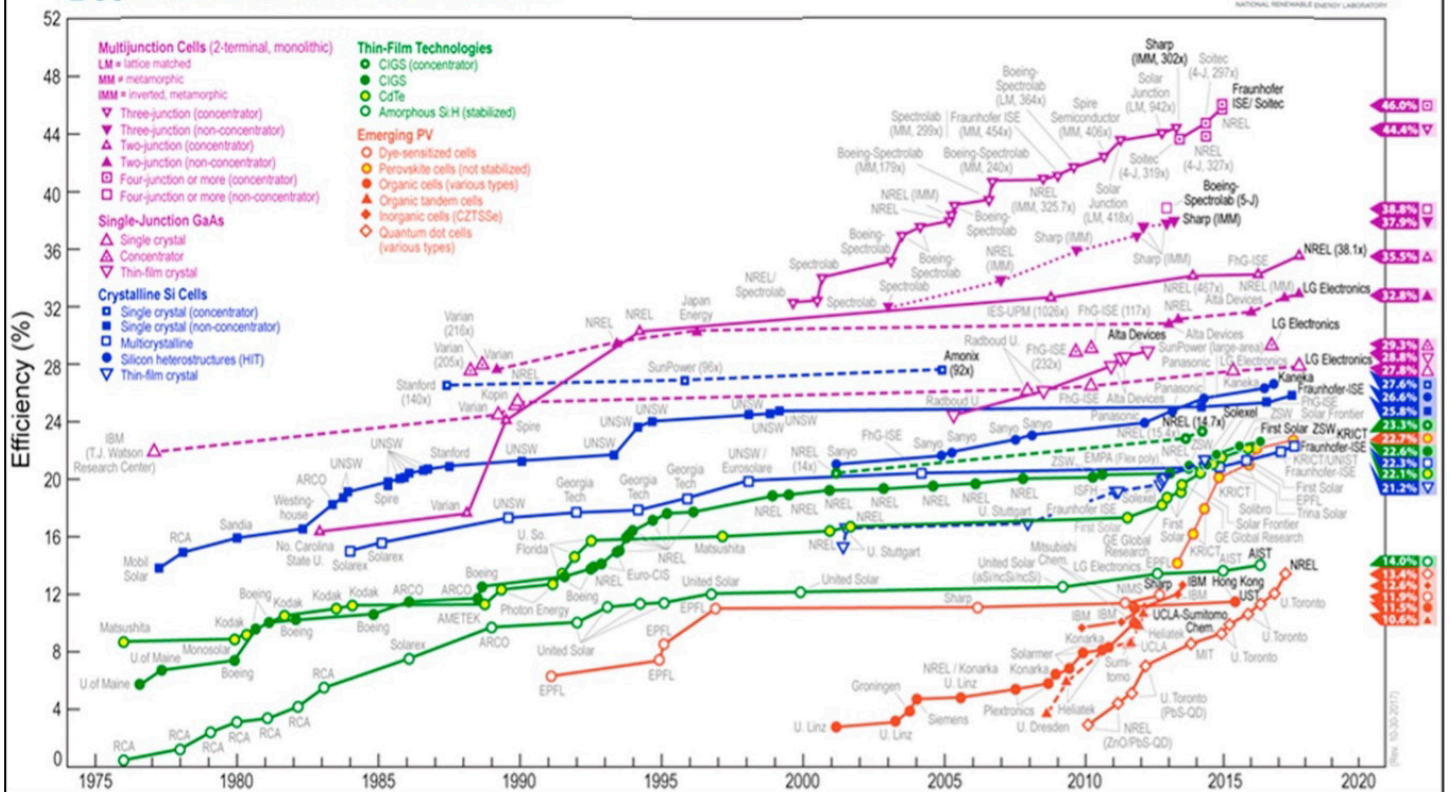
Estas tecnologías han surgido gracias a una intensa investigación y desarrollo enfocados en la búsqueda de nuevos materiales y el diseño de dispositivos. Utilizan materiales nanoestructurados que pueden ser procesados o diseñados para obtener propiedades electrónicas y ópticas específicas. Aunque aún se encuentran en fases tempranas de investigación, desarrollo y comercialización, presentan características prometedoras a nivel de dispositivo, como transparencia en el espectro visible y una alta densidad de potencia específica. Estas cualidades únicas podrían abrir nuevas posibilidades de aplicación en el campo de la tecnología de células solares (Miles et al., 2005; Ibn-Mohammed et al., 2017).

### **3. Eficiencia de las células solares según tecnología**

Hasta el año 2016, las células solares de silicio dominaban el mercado fotovoltaico global, representando el 93% de la cuota de mercado. Las células solares de silicio monocristalino (mono-Si) y multicristalino (multi-Si) lograban las eficiencias más altas reportadas por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), alcanzando un 25,8% y un 22,3%, respectivamente (Fig. 2). Este rápido crecimiento en la capacidad de producción estuvo impulsado por el desarrollo de fabricantes chinos y la reducción de los costos de inversión.

En contraste, la segunda generación de células solares de película delgada, como el silicio amorfo ( $\alpha$ -Si), el telurio de cadmio (CdTe) y el seleniuro de cobre e indio (CIS), mostraban eficiencias más bajas en torno al 14,0%, 22,1% y 22,6%, respectivamente. Sin embargo, se destacaba un rápido avance en tecnologías solares emergentes, como las células solares sensibilizadas por colorante (DSSC), las células solares de perovskita (PSC) y los puntos cuánticos. Aunque estas tecnologías todavía se encontraban en la etapa de investigación y desarrollo, habían logrado eficiencias notables del 11,9%, 22,1% y 13,4%, respectivamente, según NREL (Ludin et al., 2018).

# Best Research-Cell Efficiencies



Fuente. Fig. 2. Gráfico de eficiencia de las células solares informado por NREL 1976 hasta el presente (citada por Ludin et al., 2018).

## Bibliografía

- Goodrich, A., Hacke, P., Wang, Qi., Sopori, B., Margolis, R., James, T.L., Woodhouse, M. (2013). A wafer-based monocrystalline silicon photovoltaics road map: Utilizing known technology improvement opportunities for further reductions in manufacturing costs. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 114, 2013, Pages 110-135, ISSN 0927-0248, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.01.030>.
- Jean, J., Brown, P. R., Jaffe, R. L., Buonassisi, T., & Bulović, V. (2015). Pathways for solar photovoltaics. *Energy & Environmental Science*, 8 (4), 1200-1219.
- Kazmerski, L., Gwinner, D., & Hicks, A. (2010). Best research cell efficiencies. *National Renewable Energy Laboratory*, 2, 0-0.
- Ludin, N. A., Mustafa, N.I., Hanafiah, M.M., Ibrahim, M.A., Teridi, M.A., Sepeai, S., Zaharim, A., Sopian, K. (2018). Prospects of life cycle assessment of renewable energy from solar photovoltaic technologies: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 96, pages 11-28, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.048>.
- Miles, R. W., Hynes, K. M., & Forbes, I. (2005). Photovoltaic solar cells: An overview of state-of-the-art cell development and environmental issues. *Progress in crystal growth and characterization of materials*, 51(1-3), 1-42.
- Miles, R. W. (2006). Photovoltaic solar cells: Choice of materials and production methods. *Vacuum*, 80(10), 1090-1097.
- T. Ibn-Mohammed, S.C.L. Koh, I.M. Reaney, A. Acquaye, G. Schileo, K.B. Mustapha, R. Greenough. (2017). Perovskite solar cells: An integrated hybrid lifecycle assessment and review in comparison with other photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 80, pages 1321-1344, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.095>.



Somos **Primer Tribunal Ambiental**



[www.1ta.cl](http://www.1ta.cl) José Miguel Carrera 1579, Antofagasta



+56 55 2467300 [contacto@1ta.cl](mailto:contacto@1ta.cl)