

CELDA SOLARES ORGÁNICAS Y SU USO EN LA CONVERSIÓN DE LUZ ARTIFICIAL EN ENERGÍA ELÉCTRICA

Luis Martín Reséndiz Mendoza, Dr. en C.¹, Luis Alberto Barajas Rodríguez¹

Instituto Politécnico Nacional

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA)

lresendiz@ipn.mx, lbarajasr1101@alumno.ipn.mx

Boletín No. 109, 1o. de julio de 2025

Resumen

En el año 2015 se realizaron los acuerdos de París, los cuales tuvieron como objetivo presentar soluciones ante el cambio climático, dentro de estas soluciones, la que más se destacó fue el uso de energías renovables como la energía solar, que puede ser transformada en electricidad mediante el uso de dispositivos fotovoltaicos, también llamados como celdas solares. Estos dispositivos son clasificados dependiendo del material y la estructura que se utiliza para su fabricación, de estas clasificaciones una que llama la atención son las celdas solares orgánicas, debido a que presentan ciertas características como la flexibilidad, transparencia y ligereza, además de que pueden aprovechar tanto luz solar como luz artificial, esta última característica puede ser de gran importancia como aplicación dentro del Internet de las Cosas, pero también presentan una menor eficiencia y cuentan con una mayor degradación en el material con el paso del tiempo con respecto a las celdas solares convencionales fabricadas con silicio, por lo que universidades nacionales como el Instituto Politécnico Nacional, e internacionales, están realizando investigaciones para encontrar mejoras en estos aspectos.

Palabras Clave: celdas solares orgánicas, energía solar, luz artificial, Internet de las cosas (IoT), dispositivos fotovoltaicos.

Abstract

In 2015, the Paris agreements were held, which aimed to present solutions to climate change. Among these solutions, the most prominent was the use of renewable energies such as solar energy, which can be transformed into electricity through the use of photovoltaic devices, also known as solar cells. These devices are classified depending on the material and structure used for their manufacture. Among these classifications, organic solar cells draw attention because they have certain characteristics such as flexibility, transparency, and lightness. Furthermore, they can take advantage of both solar and artificial light, the latter characteristic being of great importance as an application within the Internet of Things. However, they also present lower efficiency and have a greater degradation in the material over time compared to conventional solar cells made of silicon. Therefore, national universities such as the Instituto Politécnico Nacional, as well as international ones, are conducting research to find improvements in these aspects.

Keywords: organic solar cells, solar energy, artificial light, Internet of Things (IoT), photovoltaic devices.

1. Introducción

Actualmente una de las mayores preocupaciones es el cambio climático, este puede ser ocasionado por fenómenos naturales como las variaciones del ciclo solar o por la actividad humana. En un artículo publicado en 1998 (Mann et al) se demostró que a partir de finales del siglo XVIII (primera revolución industrial) la temperatura promedio del planeta ha estado en aumento hasta nuestros días debido a la actividad industrial, según la NASA, se ha alcanzado una temperatura promedio global cercana a 1.3 grados Celsius, por lo que se cree que para el año 2100 dicha temperatura se encuentre alrededor de 2 a 5 grados Celsius.

Debido a este incremento en la temperatura, en el año 2015 se celebraron los acuerdos de París (en los cuales México fue participante), los cuales tuvieron como objetivo reducir los gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, para lograrlo es necesario el uso de energías renovables (no se agota, no genera gases y no contamina el agua) como fuentes principales de energía. De las fuentes de energía renovable se encuentra la energía solar, que ha presentado un incremento en su uso y desarrollo en los últimos años, la cual, mediante dispositivos fotovoltaicos como las celdas solares, capta la luz emitida por el sol y la transforma en electricidad, pero tiene ciertas desventajas, por ejemplo, su fuente de energía no es constante, solo produce energía durante el día, tienen una baja eficiencia, su rendimiento se ve afectado por las condiciones climáticas, entre otras.

Por lo que, en los últimos años se han realizado investigaciones para encontrar mejoras en la tecnología de los fotovoltaicos ante estas desventajas. Un ejemplo de estas mejoras son las celdas solares orgánicas, que tienen ciertas características particulares, como flexibilidad, transparencia, ligereza y cuenta con una gran variedad de materiales para ser fabricadas, además son susceptibles ante la luz indirecta o difusa, lo que permite su aplicación en la transformación de la luz artificial en electricidad, aunque la eficiencia en esta transformación sea baja, pero puede ser utilizada para la alimentación de los dispositivos conectados al Internet de las Cosas, mejor conocida como *IoT* (Internet of Things, por sus siglas en inglés).

Las celdas solares orgánicas surgieron durante los años 70 como una alternativa en la conversión de la energía solar, presentando solo el 1 % de eficiencia, esto gracias al uso de polímeros conductores como el polipropileno y la polianilina. Para finales del siglo pasado, se lograron grandes avances debido al desarrollo de materiales importantes como el P3HT (policiclotileno-tiofeno), que mejora la absorción de la luz visible, y los fulerenos (estructuras de carbono similares a un balón de fútbol), que ayudan a separar las cargas generadas por la luz. Para la primera década de este siglo la eficiencia se aproximó al 3.6 % gracias a la combinación del P3HT y los fulerenos, lo que permitió su uso en dispositivos electrónicos de bajo consumo. Durante la siguiente década, se hicieron mejoras en su flexibilidad y transparencia, además su eficiencia mejoró no solo bajo luz solar si no también bajo luz artificial, lo que facilitó su aplicación en ventanas solares, recubrimientos interiores y electrónica portátil.

2. Desarrollo

2.1 Desafío energético global

En los últimos años la problemática de los energéticos se debe principalmente a la alta demanda, escasez de recursos, aumento en los precios y la más preocupante de todas, el cambio climático causado especialmente por el efecto de gases invernadero producidos por el alto consumo de combustibles fósiles, que ocasiona no solo contaminación ambiental, sino también el aumento en la temperatura promedio a nivel mundial. Durante los acuerdos de París se planteó buscar en conjunto la manera de limitar el calentamiento global y las emisiones que lo causan mediante el uso de energías renovables (aquellas que dependen de fuentes capaces de renovarse ilimitadamente). México, como uno de los países que firmaron dicho acuerdo y que ratificaron ante la ONU su participación, también está comprometido en el cumplimiento de los acuerdos, cuyo principal objetivo es el de no sobrepasar los 2 grados Celsius de la temperatura promedio global (lo ideal es que sea alrededor de 1.5 grados Celsius).

Una energía renovable con gran alcance y desarrollo en la última década y con gran proyección a futuro, es la energía solar, esta puede ser transformada en forma térmica (mediante colectores solares) o en forma eléctrica (mediante sistemas fotovoltaicos).

2.2 Clasificación y propiedades de las celdas solares

Un elemento o dispositivo fotovoltaico es aquel que transforma la radiación electromagnética (luz) emitida por el sol en electricidad, los cuales son utilizados en las celdas solares (son los elementos más pequeños y básicos dentro de un sistema fotovoltaico), para mejorar su efectividad y la conversión de energía, las celdas solares son conectadas entre sí dentro de un conjunto, formando una unidad de dimensiones mayores, mejor conocida como panel solar, esta al tener una área de superficie más grande capta una cantidad mayor de luz solar, por lo que puede generar una cantidad considerable de energía eléctrica.

Estas celdas se clasifican dependiendo del tipo del material con el que están fabricadas, las más destacables son las celdas solares de silicio (también conocidas como celdas solares convencionales) y las celdas solares orgánicas, además cada clasificación presenta diferencias en sus propiedades físicas como las propiedades mecánicas, ópticas, térmicas y eléctricas.

2.3 Funcionamiento de las celdas solares orgánicas

Las celdas solares están compuestas por 2 electrodos (cátodo (-) y ánodo (+)) y una capa activa entre ellos, tal como se muestra en la figura 1. Esta capa puede estar formada por polímeros conductores o materiales de molécula pequeña, y se compone (algunas veces, depende de la estructura de la celda) de dos capas de diferentes materiales: donador (que pierde electrones al exponerse a la luz) y aceptor (que recibe a los electrones liberados), estos son esenciales para el rendimiento de la celda solar. Para el proceso de conversión de energía solar se siguen las etapas:

1. Los fotones (partículas que transportan la energía de la luz) provenientes de una fuente de luz inciden sobre la celda.
2. Los electrones que se encuentran en el material de la capa activa son excitados debido a la energía de los fotones y se liberan del material, dejando atrás un hueco (cuasipartícula con carga positiva, en otras palabras, es la ausencia que deja un electrón).
3. Los electrones se desplazan hacia el cátodo y los huecos hacia el ánodo.
4. Este movimiento genera una corriente eléctrica continua.

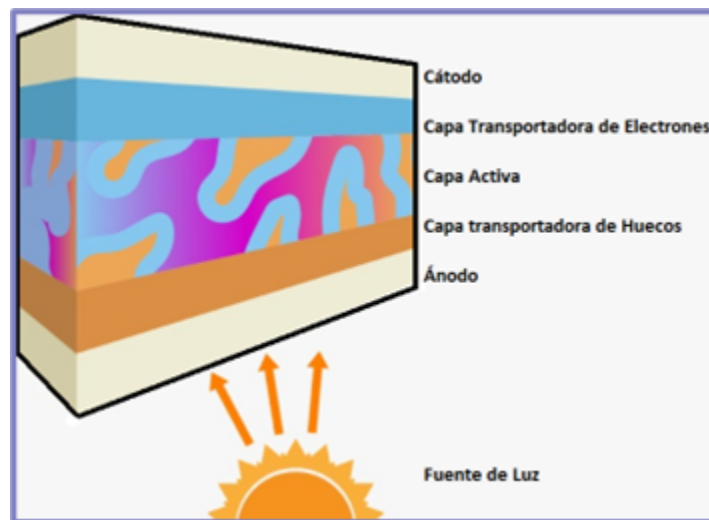


Figura 1 Esquema de una celda solar orgánica.

2.4 Comparación entre celdas solares de silicio y orgánicas

Entre las propiedades físicas del material se pueden destacar varios aspectos importantes en las celdas solares, las celdas solares de silicio presentan una mayor eficiencia (aproximadamente del 22%), tienen un peso moderado, una larga durabilidad (alta resistencia a la corrosión y a la humedad) y tiempo de vida útil (alrededor de 20-25 años), tienen una alta sensibilidad a altas temperaturas lo que causa que su rendimiento baje, presentan una gran rigidez y sensibilidad al impacto (un golpe directo la hace quebradiza) y finalmente poseen una gran reflexión de la luz solar, lo que ocasiona que una gran cantidad de luz sea reflejada en lugar de ser captada, por lo que es necesario el uso de una capa antirreflejante.

Mientras que las celdas solares orgánicas están compuestas de materiales orgánicos (estructuras o cadenas formadas de carbono y otros elementos), poseen una menor eficiencia (cerca del 18%), son flexibles y muy livianos, carecen de una vida útil alta (alrededor de 10 años), presentan una gran degradación ante el medio ambiente expuesto (humedad, luz ultravioleta, altas temperaturas, etc.) por lo que requieren de un

encapsulado, pueden ser semitransparentes, lo que permite que tengan amplias opciones para aplicaciones innovadoras dentro de diversas áreas (arquitectura, moda, dispositivos electrónicos etc.), tienen una ilimitada selección de materiales (los cuales son muy abundantes), y sobre todo, poseen un bajo impacto ambiental en su fabricación.

2.5 Celdas solares orgánicas en el aprovechamiento de la luz artificial

Una de las principales diferencias entre las celdas solares de silicio y las celdas solares orgánicas, es que las primeras están diseñadas principalmente para funcionar bajo el espectro de luz solar AM1.5 (Air Mass 1.5, por sus siglas en inglés), como se muestra en la figura 2 (dentro del rango de longitudes de onda de 400 nm a 1100 nm). Aunque también pueden operar bajo la luz artificial (por ejemplo la luz emitida por focos LED, que emiten longitudes de onda en el rango de 400 nm a 700 nm o fluorescentes compactos CFL, con longitudes alrededor de los 600 nm), su rendimiento se ve afectado debido a que la luz emitida por estas fuentes artificiales no tienen una distribución de longitud de ondas uniforme (esta presenta picos en ciertas longitudes de onda) esto se debe a que los materiales con los que están fabricadas las celdas tienen un rango limitado de absorción de luz, lo que significa que pueden tener una óptima eficiencia al absorber una distribución de longitudes de onda más amplia.

Mientras que las celdas solares orgánicas, están hechas de materiales diseñados para capturar longitudes de onda de luz específicas dentro de un rango (400 nm a 700 nm), sus materiales pueden ser diseñados para absorber longitudes de onda que predominan dentro de un cierto espectro, y aunque su eficiencia de absorción es limitada, además de sus características únicas (como su gran flexibilidad, ligereza y versatilidad), las celdas solares orgánicas ofrecen una gran diversidad de aplicaciones novedosas en interiores, como lo es en dispositivos conectados al Internet de las Cosas.

Además, como estos dispositivos tienen un bajo consumo energético (algunos solo requieren unos pocos milivatios), no dependen de estar enchufados, ni del uso de baterías, lo que los hace más respetuosos con el medio ambiente.

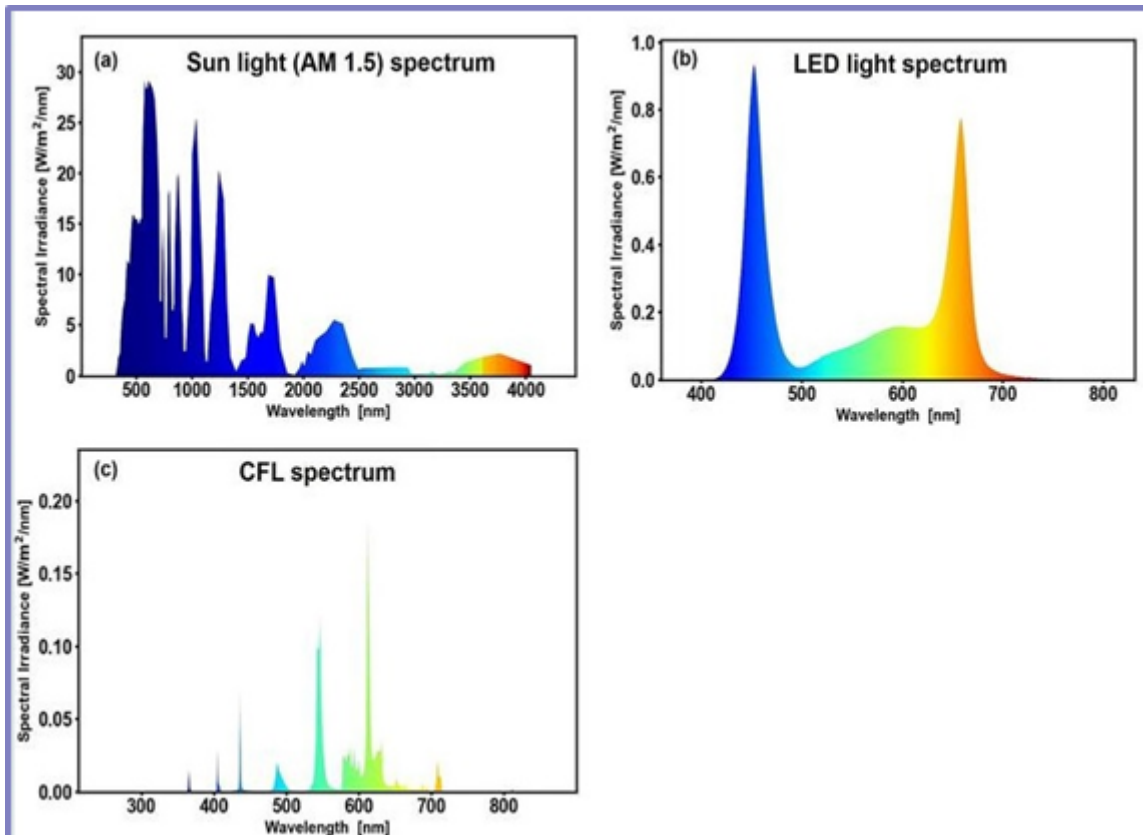


Figura 2 Graficas de los espectros de diferentes fuentes de luz.

2.6 Avances en el diseño y la eficiencia de las celdas solares orgánicas bajo luz artificial: investigación internacional

Debido a que este es un tema de investigación de gran interés, universidades alrededor del mundo realizan aportaciones para el mejoramiento de las celdas solares. La universidad Åbo Akademi en Finlandia, en conjunto con el instituto de nanociencia y nanobionica de Suzhou en China, ha logrado alcanzar el 18 % de eficiencia en las celdas solares orgánicas en un periodo de vida promedio a las 24000 horas continuas bajo luz artificial blanca, esto debido a que se identificó un mecanismo de pérdida de fotocorriente (corriente que es generada por la interacción entre la luz y el material de la celda solar) ocasionado por el material que es utilizado en el contacto inferior de la celda (óxidos metálicos), la solución fue aplicar una capa pasiva de nitrato de silicio (SiOxNy) sobre el contacto.

La universidad de Cambridge en el Reino Unido investiga sobre el uso de conversores espectrales con el objetivo de convertir los fotones en longitudes de onda más útiles para las celdas solares, lo que permite una mejora en su rendimiento bajo diferentes tipos de luz, incluyendo la luz artificial.

La universidad de Linköping en Suecia presenta una alternativa de electrodo transparente, utilizando una película de poli (benzodifurandiona) (PBFDO) modificada con polietilenimina etoxilada (PEIE), este material funciona como capa doble funcional, además de electrodo como capa transportadora, logrando una eficiencia del 15 % bajo luz artificial.

2.7 Avances en el diseño y la eficiencia de las celdas solares orgánicas bajo luz artificial: investigación nacional

En el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional "CINVESTAV", se estudió la estabilidad y eficiencia de las celdas solares orgánicas bajo luz artificial (1000 lux), mostrando una eficiencia del 10.85 %, y después de 1536 horas manteniendo el 60 % de su eficiencia inicial, utilizando una estructura invertida (cátodo, capa activa y ánodo) con los materiales p-DTS(FBTTh2)2 (molécula pequeña) y PC70BM (fulereno) como capa activa.

Además, en el instituto se ha estado trabajando con los materiales PTB7 (polímero donador) y PC70BM con diferentes grosores de la capa transportadora de electrones, utilizando PFN (polio(3-fenil-fenil)) como capa intermedia, alcanzando una eficiencia aproximada del 7.41 %, y el material p-DTS(FBTTh2)2 como donador, logrando que la celda mantenga su rendimiento por un período de tiempo más largo. El PTB7-Th (alternativa a PTB7) y PC70BM, al que se le incorporó una capa de buffer PFN sobre una capa delgada de 0.6 nm de LiF, alcanzó eficiencias de conversión en el rango de 10-11 %. Además, se ha trabajado en cuáles son las causas de la degradación de las celdas solares orgánicas, ofreciendo soluciones para mejorar su estabilidad y rendimiento. Y se ha investigado la estabilidad de las celdas solares orgánicas sin fullereno, utilizando nanopartículas de grafeno en la capa transportadora de huecos.

3. Conclusiones

A pesar de que las celdas solares se encuentran en el punto en que su eficiencia está por debajo de la ofrecida por las celdas solares convencionales, estas tienen ciertas características peculiares como flexibilidad, ligereza y transparencia, además de su bajo impacto ambiental, todo esto las hace ideales para aplicaciones dentro del Internet de las Cosas (IoT). Además, las aportaciones nacionales e internacionales en materiales y diseño han presentado mejoras significativas en su rendimiento y tiempo de vida, sobre todo bajo luz artificial, por lo que convierte a esta tecnología como una de las más prometedoras en la transición hacia fuentes de energía renovable.

Referencias bibliográficas

- [1] Aboakademi. (2025). *New discovery makes organic solar cells more efficient and stable*. EurekaAlert!. Recuperado el 20 de abril de 2025, de <https://www.eurekaalert.org/news-releases/1069649>
- [2] Borah, C. K., Goyary, S. S., Borah, L. N., Tālu, Ş., & Kumar, S. (2023). *Investigating the influence of ambient light spectrum on the thickness and band gap of halide-perovskite for indoor photovoltaic application*. Solar Energy

- (Phoenix, Ariz.), 265(112114), 112114. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112114>
- [3] Borah, C. K., Goyary, S. S., Borah, L. N., Ĵälu, Ş., & Kumar, S. (2023). *The spectrum of the light sources [Gráfica]*. Solar Energy (Phoenix, Ariz.), 265, 112114. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112114>
- [4] Cambridge, M. S. (2025). *Prof. David Evans*. University of Cambridge. Recuperado el 20 de abril de 2025, de <https://www.msm.cam.ac.uk/people/evans>
- [5] CCNow. (2023, octubre 3). *Cómo reportar sobre el objetivo de 1.5 grados Celsius*. Covering Climate Now. <https://coveringclimatenow.org/resource/como-reportar-sobre-el-objetivo-de-1-5-grados-celsius/>
- [6] Celdas solares orgánicas como una alternativa energética. (s/f). Ciqa.mx. Recuperado el 29 de abril de 2025, de <https://www.ciqa.mx/CeldasSolaresOrg.aspx>
- [7] CMNUCC. (2025). *El Acuerdo de París*. Recuperado el 20 de abril de 2025, de <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- [8] Flores, I. C., Casallas, Y. L., & Reséndiz, L. M. (2025). *Celdas solares orgánicas: una tecnología viable para México*. Ciencia, 76, 76-82.
- [9] Fagua Fagua, A. L., & Suárez, W. F. (2015). *Celdas Solares Orgánicas*. Innovación Y Tecnología, 2, 71-81.
- [10] Freitag, M., Teuscher, J., Saygili, Y., Zhang, X., Giordano, F., Liska, P., Hua, J., Zakeeruddin, S. M., Moser, J.-E., Grätzel, M., & Hagfeldt, A. (2017). *Dye-sensitized solar cells for efficient power generation under ambient lighting*. Nature Photonics, 11(6), 372-378. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2017.60>
- [11] Green, M. A. (1982). *Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications*. Prentice-Hall.
- [12] Green, M. A. (2001). *Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion*. Springer.
- [13] Lastra, G., et al. (2018). *High-performance inverted polymer solar cells: Study and analysis of different cathode buffer layers*. IEEE Journal of Photovoltaics, 8(2), 505-511. <https://doi.org/10.1109/jphotov.2017.2782568>
- [14] Lastra, G., et al. (2019). *Air environment degradation of a high-performance inverted PTB7-Th:PC70BM solar cell*. IEEE Journal of Photovoltaics, 9(2), 464-468. <https://doi.org/10.1109/jphotov.2019.2892108>
- [15] Lastra, G., et al. (2024). *Simulation of the degradation behavior of small-molecule solar cells based on p-DTS(FBTTh2)2 as the donor material*. Materials Research Express. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad55b0>
- [16] Liu, T., et al. (2024). *A polymeric two-in-one electron transport layer and transparent electrode for efficient indoor all-organic solar cells*. Advanced Science. <https://doi.org/10.1002/advs.202405676>
- [17] Mann, M. E., Bradley, R. S., & Hughes, M. K. (1998). *Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries*. Nature, 392(6678), 779-787. <https://doi.org/10.1038/33859>
- [18] National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2025). *Organic photovoltaic solar cells*. Recuperado el 20 de abril de 2025, de <https://www.nrel.gov/pv/organic-photovoltaic-solar-cells.html>
- [19] Nelson, J. (2003). *Physics of solar cells, the*. Imperial College Press.
- [20] Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). *A review of solar photovoltaic technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(3), 1625-1636. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>
- [21] Ramírez-Como, M., et al. (2021). *Small molecule organic solar cells toward improved stability and performance for indoor light harvesting application*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 230, 111265. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111265>
- [22] Ramírez-Como, M., Valdez-Mata, M. M., Sacramento, A., Casas-Espínola, J. L., Reséndiz, L., & Marsal, L. F. (2024). *Utilization of graphite nanoparticles as a hybrid hole transport layer in non-fullerene organic solar cells*. IEEE Journal of Electron Devices Society, 1. <https://doi.org/10.1109/jeds.2024.3475513>
- [23] Reséndiz, L., Balderrama, V. S., Lastra, G., Ramírez, M., Cabrera, V., & Estrada, M. (2019). *Optimization of PFN thickness in inverted high-performance PTB7:PC70BM solar cells*. Solid-State Electronics, 153, 33-36. <https://doi.org/10.1016/j.sselec.2019.03.001>

doi.org/10.1016/j.sse.2018.12.013

- [24] SEMARNAT. (2025). *Ratificación de México ante la ONU del Acuerdo de París*. Recuperado el 20 de abril de 2025, de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/ratificacion-de-mexico-ante-la-onu-del-acuerdo-de-paris>
- [25] Temperatura global. (s/f). *Climate Change: Vital Signs of the Planet*. Recuperado el 30 de abril de 2025, de <https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/temperatura-global/?intent=111>
- [26] Universidad de Guanajuato. (2025). *Desarrollo de nuevos materiales fotovoltaicos y su aplicación en celdas solares orgánicas*. Recuperado el 20 de abril de 2025, de <https://www.ugto.mx/investigacionyposgrado/eugreka/contribuciones/53-desarrollo-de-nuevos-materiales-fotovoltaicos-y-su-aplicacion-en-celdas-solares-org>

Reséndiz Mendoza, L. M., Barajas Rodríguez, L. A. (2026). CELIDAS SOLARES ORGÁNICAS Y SU USO EN LA CONVERSIÓN DE LUZ ARTIFICIAL EN ENERGÍA ELÉCTRICA. *Boletín UPIITA*. año XX, (NÚM) 2026.