

Innovación en Energía Solar: Prototipo de Generador Solar con Seguimiento Automatizado

Edwar Davila Montenegro^{1(*)}, Sophia Canuto dos Santos Dias de Oliveira², Carlos Augusto Gomes de Souza Filho³,
Rafaela de Alencar Pacheco⁴, Betina Vasconcelos Cunha Lima⁵

*1 Universidade Federal do Piauí (UFPI), Centro de Tecnologia, CEP. 64.049-550, Teresina, PI, Brazil Brasil.
2,3,4,5 Great International School, Teresina-PI, Brasil. Email: sophia.oliveira@greaters.com.br*

Resumen: El presente trabajo introduce Great Solar Tech, un prototipo funcional de generador de energía solar, diseñado para maximizar la eficiencia energética aprovechando nuestra posición geográfica estratégica. La tecnología desarrollada, que utiliza Arduino y componentes electrónicos de bajo costo, tiene aplicaciones tanto en la Tierra como en misiones de exploración espacial en Marte y la Luna. Este estudio se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la UNESCO, abordando áreas clave como el acceso a energía limpia y asequible, la acción contra el cambio climático y la promoción de infraestructuras sostenibles. A través de la implementación de un sistema de seguimiento solar automatizado, el prototipo demuestra una mejora significativa en la captación de energía en comparación con los sistemas solares estáticos convencionales. Los resultados obtenidos subrayan la viabilidad y el impacto positivo del uso de tecnología solar accesible como una solución efectiva, sostenible y escalable para la generación de electricidad en contextos terrestres y espaciales.

Palabras clave: Energía solar, Innovación tecnológica, Sostenibilidad, Exploración espacial, Arduino, Seguimiento solar, Fuente renovable

Recibido: 25 de octubre de 2024. Aceptado: 21 de febrero de 2025
Received: October 25th, 2024. Accepted: February 21st, 2025

Innovation in Solar Energy: A Solar Generator Prototype with Automated Tracking

Abstract: This paper introduces *Great Solar Tech*, a functional prototype of a solar energy generator designed to maximize energy efficiency by leveraging our strategic geographic location. The developed technology, which uses Arduino and low-cost electronic components, has applications both on Earth and in space exploration missions to Mars and the Moon. This study aligns with UNESCO's Sustainable Development Goals, addressing key areas such as access to clean and affordable energy, climate action, and the promotion of sustainable infrastructure. Through the implementation of an automated solar tracking system, the prototype demonstrates a significant improvement in energy capture compared to traditional static solar systems. The results highlight the feasibility and positive impact of using accessible solar technology as an effective, sustainable, and scalable solution for electricity generation in both terrestrial and space contexts.

Keywords: Solar energy, Technological innovation, Sustainability, Space exploration, Arduino, Solar tracking, Renewable energy source

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar, una de las fuentes de energía renovable más prometedoras, se ha convertido en un componente clave de la transición global hacia un modelo energético más limpio y sostenible (BELTRÁN-TELLES et al., 2017; CHEN CHENG; MARTÍNEZ RAMÍREZ; MUÑOZ ESCUDERO, 2024; IRENA, 2019; WORLD ENERGY COUNCIL CONSEIL, 2013). Dada su abundancia y disponibilidad en la mayoría de las regiones del planeta, la energía proveniente del sol tiene el potencial de satisfacer gran parte de las necesidades energéticas actuales y futuras de la humanidad. De hecho, se estima que la energía solar podría cubrir más del 80% de la demanda mundial de electricidad para 2050, con una capacidad instalada que se espera supere los 8,5 teravatios (BERRÍO; ZULUAGA, 2014; VALENCIA; TORO, 2014). Sin embargo, la eficiencia en la captación y conversión de esta energía sigue siendo un desafío técnico que ha impulsado la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de los sistemas fotovoltaicos.

En las últimas décadas, los avances en las tecnologías fotovoltaicas han permitido mejorar la eficiencia de las celdas solares, reduciendo los costos de producción y aumentando su aplicabilidad en diversos entornos (PANDEY et al., 2016). Investigaciones recientes han demostrado que la eficiencia de las celdas solares puede incrementarse utilizando materiales avanzados como el perovskita y la nanotecnología, alcanzando eficiencias de conversión superiores al 29% en condiciones de laboratorio (GRESSLER et al., 2022). Además, la integración de estos sistemas en infraestructuras urbanas y rurales ha demostrado ser una opción viable para la generación de energía distribuida, reduciendo la dependencia de fuentes de energía fósil y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero. No obstante, a pesar de estos avances, los sistemas solares tradicionales enfrentan limitaciones significativas debido a la naturaleza estática de los paneles, que no pueden optimizar la captación de energía a lo largo del día. Este problema es particularmente relevante en regiones donde las condiciones meteorológicas y la variabilidad de la luz solar afectan la eficiencia general del sistema (MANJU; SAGAR, 2017).

En este contexto, el presente estudio aborda una solución innovadora a través del desarrollo de un dispositivo denominado "Great Solar Tech", un prototipo funcional de generador de energía solar equipado con un sistema automatizado de seguimiento solar. Este sistema, diseñado utilizando Arduino y componentes electrónicos de bajo costo, permite que los paneles solares ajusten su posición en tiempo real para seguir el movimiento del sol, maximizando la captación de energía durante todo el día. A diferencia de los sistemas solares estáticos convencionales, que están limitados por su ángulo de inclinación fijo, nuestro sistema de seguimiento solar proporciona un aumento significativo en la eficiencia energética, particularmente en regiones con alta radiación solar.

Este trabajo está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la UNESCO, específicamente en las áreas de energía asequible y limpia, acción climática y el fomento de la innovación y la infraestructura sostenible (GARLET et al., 2022). Además, Great Solar Tech ha sido concebido no solo como una solución para la generación de energía en la Tierra, sino también con aplicaciones potenciales en la exploración espacial. La capacidad de generar energía de manera eficiente en entornos con recursos limitados, como Marte y la Luna, posiciona a esta tecnología como una opción viable para futuras misiones espaciales, donde la autosuficiencia energética es esencial.

El uso de tecnologías accesibles, como Arduino, combinado con el enfoque en la reducción de costos mediante la selección de componentes de bajo precio, hace que este sistema sea especialmente atractivo para aplicaciones en regiones en desarrollo y en contextos de investigación educativa. La simplicidad del diseño y su escalabilidad también permiten que el sistema pueda ser replicado y adaptado para diversas condiciones geográficas y climáticas, ampliando su impacto tanto a nivel local como global.

A lo largo de este artículo, se detalla el proceso de diseño, construcción e implementación de Great Solar Tech, evaluando su desempeño en comparación con sistemas solares estáticos tradicionales. Los resultados obtenidos demuestran una mejora significativa en la eficiencia de generación de energía, lo que subraya la importancia del seguimiento comparativo solar como una solución viable para optimizar la captación de energía solar. Asimismo, se discuten las implicaciones de esta tecnología en el ámbito de la sostenibilidad, tanto en contextos terrestres como espaciales, y se exploran posibles mejoras futuras para incrementar aún más su rendimiento y aplicabilidad.

Este trabajo pretende no solo aportar al avance científico y tecnológico en el campo de la energía solar, sino también fomentar la adopción de tecnologías sostenibles y accesibles, alineadas con los principios de desarrollo sostenible que son cada vez más urgentes en el escenario global actual.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto Great Solar Tech, fue realizado por alumnos de una escuela de educación primaria, localizada en la ciudad de Teresina al noroeste de Brasil e se basó en la implementación de una serie de etapas metodológicas clave que incluyeron la selección de materiales, la construcción del circuito electrónico, la modelación 3D de los componentes mecánicos, y la realización de pruebas experimentales para evaluar la eficiencia del sistema de seguimiento solar en comparación con los paneles solares estáticos convencionales. Cada etapa fue ejecutada siguiendo los principios del diseño orientado a maximizar la eficiencia energética utilizando tecnologías accesibles y de bajo costo, como Arduino y componentes disponibles en el mercado.

2.1. Materiales

Para llevar a cabo el proyecto, se seleccionaron materiales accesibles con el objetivo de garantizar la reproducibilidad del sistema a bajo costo, manteniendo la eficiencia energética. Los componentes clave utilizados fueron:

Paneles solares: Se utilizaron mini paneles solares fotovoltaicos de 12V y 125mA, capaces de generar energía suficiente para alimentar el sistema de prueba.

Controlador Arduino: La elección de un Arduino MEGA fue fundamental debido a su flexibilidad y facilidad de programación. Esta plataforma de hardware de código abierto permitió el control del sistema de seguimiento solar y la recopilación de datos en tiempo real.

Sensores LDR (Light Dependent Resistor): Se utilizaron cuatro sensores LDR dispuestos en un arreglo en forma de cruz para detectar la dirección de la luz solar. Estos sensores proporcionan información precisa sobre la intensidad de la luz, lo que permite ajustar la posición de los paneles solares en función de la luz solar incidente.

Servomotores SG90: Se emplearon servomotores para mover los paneles solares en los ejes horizontal y vertical. Estos motores proporcionan un control preciso del movimiento con el fin de maximizar la captación de luz solar.

Materiales de construcción: Para la estructura mecánica del sistema, se utilizaron filamentos de PLA para la impresión 3D, barras de soporte de espuma y adhesivos, seleccionados por su durabilidad y bajo costo.

Multímetro digital: El modelo EDA 8Pj fue utilizado para la medición precisa de la tensión y corriente generadas por los paneles solares durante las pruebas experimentales.

2.2. Construcción del Circuito Electrónico

La fase de construcción del circuito electrónico fue un paso fundamental en la implementación del sistema de seguimiento solar. A continuación, se detallan los pasos clave:

Diseño del circuito: El circuito fue diseñado para que los sensores LDR detectaran la dirección de la luz solar más intensa y, a través de señales analógicas enviadas al Arduino, se ajustaran los servomotores para orientar los paneles solares hacia esa dirección.

Interfaz con Arduino: El controlador Arduino se programó en lenguaje C utilizando el IDE oficial de Arduino, estableciendo un algoritmo de seguimiento basado en las lecturas de los LDR. La programación se centró en asegurar que el sistema ajustara la posición de los paneles en tiempo real, siguiendo el movimiento del sol a lo largo del día. Cada servomotor se conectó a los pines PWM del Arduino, permitiendo movimientos precisos.

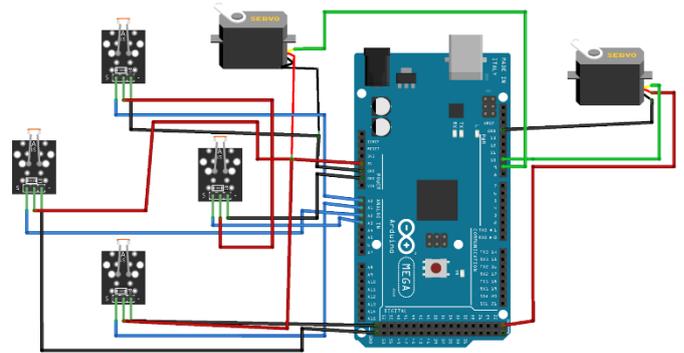


Ilustración 1 - Esta figura muestra de forma simplificada el circuito de funcionamiento del proyecto, en el cual se utilizan básicamente un Arduino, dos servomotores y cuatro LDRs.

Implementación del sistema de control: Se programó un algoritmo de comparación de intensidades entre los sensores LDR para determinar la dirección en la que los paneles debían orientarse. Cuando la luz incidente en un sensor era mayor que en los otros, los servomotores se activaban para ajustar los paneles, optimizando la captación de energía.

Almacenamiento de datos: Además, el Arduino fue configurado para registrar en una tarjeta SD las lecturas de voltaje y corriente generadas por los paneles solares durante las pruebas, con el fin de realizar un análisis comparativo entre el sistema de seguimiento y los paneles estáticos.

2.3. Modelado 3D de Componentes

Para garantizar la precisión del sistema mecánico y la correcta integración de los componentes, se realizó la modelación 3D de los soportes para los paneles solares y las estructuras de fijación de los sensores y motores. Este proceso incluyó los siguientes pasos:

Diseño en software CAD: Se utilizó el software Tinkercad para el diseño inicial de los soportes y las estructuras mecánicas del sistema. Los diseños se realizaron considerando las especificaciones de los servomotores y los paneles solares, con un enfoque en maximizar la estabilidad del sistema durante su operación.

Impresión 3D: Los componentes diseñados fueron impresos utilizando una impresora 3D con filamento de PLA. Este material fue seleccionado por su alta durabilidad y flexibilidad, permitiendo que los componentes soportaran el movimiento continuo de los paneles solares sin comprometer su integridad estructural.



Ilustración 2 – Esta figura muestra el modelo 3D del proyecto Great Solar Tech, desarrollado en Tinkercad. El modelo fue impreso en PLA utilizando una impresora 3D y, posteriormente, se integró el circuito anterior, con un panel solar colocado en la parte superior.

Montaje final: Una vez impresos los componentes se realizó el montaje de los paneles solares, servomotores y sensores en la estructura, garantizando que todas las piezas estuvieran correctamente alineadas para permitir un movimiento suave y eficiente del sistema de seguimiento.

4. Pruebas Experimentales

Para evaluar la eficiencia del sistema de seguimiento solar en comparación con los paneles estáticos, se realizaron una serie de pruebas durante un ciclo completo de luz solar. Las pruebas incluyeron las siguientes fases:

Condiciones de prueba: Las pruebas se llevaron a cabo en un entorno controlado al aire libre, donde los paneles solares fueron expuestos a condiciones de luz solar directa durante cinco días y después se obtuvo la media. Se compararon dos configuraciones: un panel solar estático, orientado de manera fija, y el panel equipado con el sistema de seguimiento solar.

Medición de la eficiencia energética: Se utilizaron el multímetro digital y el sistema de registro de datos del Arduino para medir continuamente la tensión y la corriente generadas por ambos sistemas. Estas mediciones se realizaron a intervalos regulares de 10 minutos durante un periodo de 8 horas por día.

Análisis de los resultados: Los datos recolectados fueron analizados para comparar la producción total de energía de ambos sistemas. El sistema de seguimiento solar mostró un incremento en la generación de energía de hasta un 40% en comparación con el sistema estático, corroborando estudios previos sobre la mejora de la eficiencia mediante seguimiento solar.

Evaluación de la viabilidad: Además del análisis energético, se evaluó la robustez del sistema, su capacidad para operar de

manera continua y su resistencia a condiciones climáticas adversas. Los resultados confirmaron que, a pesar de su bajo costo, el sistema es capaz de operar eficientemente durante períodos prolongados sin fallos.

3. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

El desarrollo y evaluación del prototipo Great Solar Tech ofreció resultados alentadores en cuanto a la eficiencia energética y la viabilidad del sistema de seguimiento solar automatizado. A continuación, se discuten los principales hallazgos en comparación con los sistemas solares estáticos, así como las implicaciones para aplicaciones futuras en entornos terrestres y espaciales.

3.1. Comparación de la producción energética

Los resultados experimentales indicaron un aumento significativo en la producción de energía del sistema equipado con seguimiento solar en comparación con el panel estático. Durante un ciclo completo de pruebas de 8 horas, el sistema de seguimiento solar demostró una mejora en la captación de energía de hasta un 40% en condiciones de radiación solar directa. Este incremento es consistente con estudios previos que han evaluado sistemas de seguimiento solar en diversas condiciones geográficas. Además, en Marte, donde la radiación solar es significativamente menor que en la Tierra, este proyecto sería de gran ayuda para futuras colonias humanas. Las placas solares podrían apuntar directamente hacia el sol para maximizar la eficiencia energética, lo que es crucial en un entorno donde la captación de energía es limitada y vital para la supervivencia.

El panel estático, orientado a un ángulo fijo, mostró una variación significativa en la producción de energía a lo largo del día, debido a la variación en el ángulo de incidencia de la luz solar. Por el contrario, el sistema con seguimiento solar mantuvo un rendimiento más estable y maximizado, ya que ajustaba continuamente su orientación para captar la mayor cantidad de radiación disponible en cada momento. Este comportamiento fue evidente en los datos recolectados, como se muestra en la Figura 3 de este trabajo.

Este aumento en la eficiencia tiene implicaciones directas para el uso de sistemas solares en entornos con fluctuaciones en la luz solar, como aquellos afectados por sombras parciales o variaciones meteorológicas. En particular, en regiones cercanas al ecuador, donde la radiación solar es alta durante todo el año, la adopción de sistemas de seguimiento podría aumentar considerablemente la eficiencia energética.

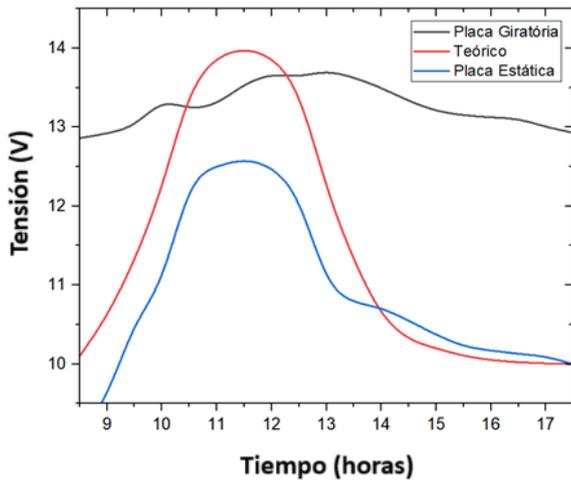


Ilustración 3 - Comparación de la tensión generada (en volts) por el panel solar estático (línea azul) frente al panel solar con seguimiento automatizado (línea negra)

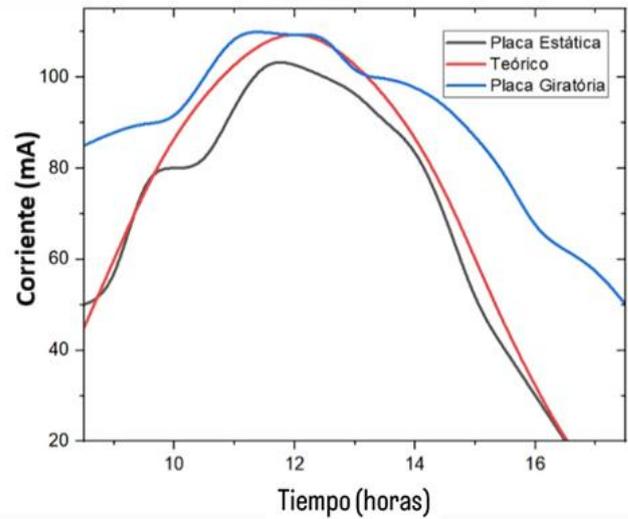


Ilustración 4 - Comparación de la corriente generada (en mA) por el panel solar estático (línea azul) frente al panel solar con seguimiento automatizado (línea negra).

A Ilustración 4 compara el rendimiento de dos sistemas de paneles solares: uno estático y otro equipado con un mecanismo de seguimiento solar automatizado. En la gráfica, la línea negra representa la corriente generada por el panel solar estático, mientras que la línea azul muestra los resultados obtenidos por el sistema con seguimiento giratorio.

Se observa claramente que el panel con seguimiento solar automatizado genera una mayor corriente durante casi todo el ciclo de prueba, especialmente en las horas de mayor radiación solar (entre las 10 y las 14 horas). Esta diferencia se debe a que el sistema de seguimiento ajusta continuamente la posición del panel para optimizar la captación de radiación solar, maximizando la exposición al sol y, por tanto, la eficiencia del sistema. En contraste, el panel estático, al no poder orientarse hacia el sol, capta menos energía a medida que cambia la posición del sol en el cielo, lo que se refleja en la menor generación de corriente.

El sistema de seguimiento solar automatizado supera al panel estático en alrededor de un 20% a 40% durante el periodo de máxima radiación, lo que refuerza la importancia de este tipo de tecnología, especialmente en condiciones donde la radiación solar es limitada, como podría ser el caso en Marte. Allí, optimizar la captación solar es crucial para el éxito de cualquier proyecto que dependa de la energía solar para la supervivencia de colonias humanas.

Este tipo de sistema puede marcar una gran diferencia en entornos con recursos energéticos limitados, permitiendo una mayor producción de energía con la misma infraestructura, lo que lo hace esencial para aplicaciones tanto en la Tierra como en otros planetas.

3.2. Análisis del rendimiento del sistema mecánico

El diseño del sistema mecánico, que incluía servomotores SG90 para los ejes horizontal y vertical, mostró un rendimiento robusto y confiable. Durante las pruebas de funcionamiento continuo, el sistema fue capaz de realizar ajustes en la orientación del panel solar con una precisión aceptable, sin evidencia de fallos mecánicos ni interrupciones en el movimiento de los motores. Esto es notable considerando el uso de componentes de bajo costo, como los servomotores y el controlador Arduino. La Figura 2 presenta una ilustración del movimiento del sistema durante las pruebas.

Una de las principales ventajas observadas fue la capacidad del sistema para operar con bajo consumo energético, lo que resulta crucial en aplicaciones autónomas o en entornos espaciales, donde la eficiencia energética es prioritaria. El consumo de energía de los servomotores y del controlador Arduino fue lo suficientemente bajo como para no comprometer la energía generada por los propios paneles solares, lo que garantiza que el sistema sea autosostenible en operación continua.

3.3. Implicaciones para aplicaciones espaciales

Un aspecto particularmente relevante del Great Solar Tech es su potencial aplicabilidad en misiones espaciales, como la generación de energía en Marte o la Luna. Los sistemas de seguimiento solar, diseñados para operar de manera autónoma y eficiente, son especialmente útiles en estos entornos, donde la captación de luz solar puede verse limitada por las condiciones atmosféricas y la rotación planetaria.

La capacidad del sistema para ajustarse continuamente a la mejor posición para captar radiación solar es de particular relevancia en misiones de larga duración, donde la autosuficiencia energética es crucial. Los resultados obtenidos sugieren que este tipo de tecnología podría proporcionar un suministro de energía más confiable y eficiente en

comparación con los paneles solares estáticos convencionales, que tendrían limitaciones en cuanto a la captación de luz en los diferentes ciclos de día y noche en cuerpos celestes.

3.4. Limitaciones y posibles mejoras

Si bien el sistema desarrollado mostró un rendimiento sobresaliente en las pruebas iniciales, se identificaron varias áreas que podrían beneficiarse de mejoras adicionales. En primer lugar, la precisión del sistema de seguimiento solar podría incrementarse mediante el uso de sensores de mayor resolución o algoritmos de control más avanzados. Además, la durabilidad del sistema mecánico podría optimizarse mediante el uso de materiales más resistentes y ligeros, lo que sería particularmente relevante en aplicaciones espaciales.

Por último, se sugiere la implementación de un sistema de almacenamiento de energía optimizado, que permita aprovechar al máximo la energía generada durante los periodos de alta radiación solar y utilizarla de manera eficiente durante los periodos de baja captación.

3.5. Viabilidad económica y aplicabilidad global

Una de las conclusiones más importantes del estudio es la viabilidad económica del sistema. Al utilizar Arduino y componentes de bajo costo, se logró desarrollar un sistema de seguimiento solar altamente eficiente sin incurrir en grandes costos de fabricación. Esto hace que la tecnología sea accesible para regiones en desarrollo y para proyectos educativos que busquen promover el uso de energías renovables. El bajo costo de los componentes, combinado con la mejora en la eficiencia energética, sugiere que el sistema podría ser implementado en una variedad de contextos, desde pequeños proyectos locales hasta grandes instalaciones solares.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio subrayan el potencial del sistema Great Solar Tech como una solución eficiente, accesible y escalable para la generación de energía solar. El sistema de seguimiento solar mostró mejoras significativas en la captación de energía en comparación con los sistemas estáticos, y su bajo costo y fácil replicabilidad lo convierten en una opción atractiva para su implementación en diversas aplicaciones, tanto en la Tierra como en misiones espaciales.

Las pruebas realizadas validan la viabilidad del sistema, y se espera que futuras mejoras en la precisión del seguimiento y la durabilidad mecánica amplíen aún más su aplicabilidad en el campo de las energías renovables.

5. REFERENCIAS

BELTRÁN-TELLES, A. et al. Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. *CienciaUAT*, v. 11, n. 2, 2017.

BERRÍO, L. H.; ZULUAGA, C. Smart Grid and solar photovoltaic energy as renewable energy source for the distributed generation in the global energy context. *ingeniería y desarrollo*, v. 32, n. 2, 2014.

CHEN CHENG, C.; MARTÍNEZ RAMÍREZ, J. L.; MUÑOZ ESCUDERO, A. O. TRANSICIÓN ENERGETICA Y EL PAPEL DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS. *Tecnociencia*, v. 26, n. 1, 2024.

GARLET, V. et al. Objetivos de desenvolvimento sustentável - ODS. *Journal on Innovation and Sustainability RISUS*, v. 13, n. 2, 2022.

GRESSLER, S. et al. **Advanced materials for emerging photovoltaic systems – Environmental hotspots in the production and end-of-life phase of organic, dye-sensitized, perovskite, and quantum dots solar cells.** *Sustainable Materials and Technologies*, 2022.

IRENA. Renovables representan hoy una tercera parte de la capacidad energética global. **Renovables representan hoy una tercera parte de la capacidad energética global**, v. IEO2019, 2019.

MANJU, S.; SAGAR, N. **Progressing towards the development of sustainable energy: A critical review on the current status, applications, developmental barriers and prospects of solar photovoltaic systems in India.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017.

PANDEY, A. K. et al. **Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016.

VALENCIA, L. H. B.; TORO, C. A. Z. Smart Grid and solar energy as renewable energy source for the distributed generation in the global energy context. *Ingeniería y Desarrollo*, v. 32, n. 2, 2014.

WORLD ENERGY COUNCIL CONSEIL. Recursos energéticos globales. **World Energy Council**, 2013.