



Desarrollo y Eficiencia de Dispositivos Biofotovoltaicos: Estado del Arte y Perspectivas Futuras

Development and Efficiency of Biophotovoltaic Devices: State of the Art and Future Perspectives

Desenvolvimento e Eficiência de Dispositivos Biofotovoltaicos: Estado da Arte e Perspectivas Futuras

Leonela Del Rocio De La A-Salinas ^I
ldelaa@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0320-4397>

Cristian Armando Estrada-Olmedo ^{II}
caestrdao@pucese.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0003-3189-9557>

Pablo José Morcillo-Valencia ^{III}
pablo.morcillo.valencia@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8471-745X>

Jerson Joseph Valdez-Ibarra ^{IV}
jerson.valdez.ibarra@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-0551-6463>

Correspondencia: ldelaa@uagraria.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 2 de julio de 2024 * **Aceptado:** 05 de agosto de 2024 * **Publicado:** 11 de septiembre de 2024

- I. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- II. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas, Ecuador.
- III. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.

Resumen

El desarrollo y la eficiencia de los dispositivos biofotovoltaicos (BPV) representan un área emergente en el campo de la energía renovable, con el potencial de proporcionar una fuente de energía limpia y sostenible. Este estudio se centra en evaluar el estado del arte de los BPV, identificando los avances más recientes y los desafíos que aún persisten, con el objetivo de ofrecer una visión clara de su futuro en la transición energética global. La investigación se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica exhaustiva, que incluyó la consulta de bases de datos especializadas como Scopus, Scielo, Dialnet, y Google Scholar. Se analizaron un total de 863 estudios relevantes, publicados entre el año 2000 y la fecha, enfocados en las variables de desarrollo y eficiencia de los dispositivos biofotovoltaicos. Los resultados de esta revisión destacan avances significativos en el diseño y materiales de los BPV, especialmente en la integración de nanomateriales y organismos fotosintéticos modificados. Sin embargo, la eficiencia de conversión energética de estos dispositivos sigue siendo baja en comparación con otras tecnologías fotovoltaicas, lo que señala la necesidad de una mayor investigación en esta área. También se identificaron tendencias emergentes y retos clave, como la estandarización de métodos de evaluación y la mejora en la sostenibilidad de los materiales utilizados.

A pesar de los desafíos actuales, los dispositivos biofotovoltaicos tienen el potencial de desempeñar un papel crucial en el futuro de la energía renovable. Con investigaciones adicionales y un enfoque en la optimización de la eficiencia y la sostenibilidad, los BPV podrían convertirse en una opción viable para la generación de energía limpia a gran escala en los próximos años.

Palabras clave: Biofotovoltaica; energía renovable; eficiencia energética; nanomateriales; sostenibilidad.

Abstract

The development and efficiency of biophotovoltaic devices (BPV) represent an emerging area in the field of renewable energy, with the potential to provide a clean and sustainable source of energy. This study focuses on assessing the state of the art of BPVs, identifying the most recent advances and the challenges that still persist, with the aim of offering a clear vision of their future in the global energy transition. The research was carried out through an exhaustive bibliographic review, which included the consultation of specialized databases such as Scopus, Scielo, Dialnet, and

Google Scholar. A total of 863 relevant studies, published between 2000 and today, were analyzed, focusing on the development and efficiency variables of biophotovoltaic devices. The results of this review highlight significant advances in the design and materials of BPVs, especially in the integration of nanomaterials and modified photosynthetic organisms. However, the energy conversion efficiency of these devices remains low compared to other PV technologies, pointing to the need for further research in this area. Emerging trends and key challenges were also identified, such as standardization of assessment methods and improvement in the sustainability of the materials used.

Despite current challenges, biophotovoltaic devices have the potential to play a crucial role in the future of renewable energy. With further research and a focus on efficiency and sustainability optimization, BPVs could become a viable option for large-scale clean energy generation in the coming years.

Keywords: Biophotovoltaics; renewable energy; energy efficiency; nanomaterials; sustainability.

Resumo

O desenvolvimento e a eficiência dos dispositivos biofotovoltaicos (BPV) representam uma área emergente no domínio das energias renováveis, com potencial para fornecer uma fonte de energia limpa e sustentável. Este estudo centra-se na avaliação do estado da arte dos BPV, identificando os avanços mais recentes e os desafios que ainda persistem, com o objetivo de oferecer uma visão clara do seu futuro na transição energética global. A pesquisa foi realizada através de uma exaustiva revisão bibliográfica, que incluiu a consulta de bases de dados especializadas como a Scopus, Scielo, Dialnet e Google Scholar. Foram analisados 863 estudos relevantes, publicados entre 2000 e a atualidade, focados nas variáveis de desenvolvimento e eficiência dos dispositivos biofotovoltaicos. Os resultados desta revisão destacam avanços significativos no design e nos materiais dos BPVs, especialmente na integração de nanomateriais e organismos fotossintéticos modificados. No entanto, a eficiência de conversão energética destes dispositivos continua a ser baixa em comparação com outras tecnologias fotovoltaicas, apontando para a necessidade de mais investigação nesta área. Foram ainda identificadas tendências emergentes e principais desafios, como a uniformização dos métodos de avaliação e a melhoria da sustentabilidade dos materiais utilizados.

Apesar dos desafios atuais, os dispositivos biofotovoltaicos têm potencial para desempenhar um papel crucial no futuro das energias renováveis. Com investigação adicional e um foco na otimização da eficiência e da sustentabilidade, os BPV poderão tornar-se uma opção viável para a geração de energia limpa em grande escala nos próximos anos.

Palavras-chave: Biofotovoltaica; energia renovável; eficiência energética; nanomateriais; sustentabilidade.

Introducción

La búsqueda de fuentes de energía sostenible ha cobrado una importancia crucial en la lucha contra el cambio climático y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. En este contexto, la biofotovoltaica emerge como una tecnología prometedora que combina principios biológicos y fotovoltaicos para generar electricidad a partir de fuentes renovables (Pozo, 2021). Los dispositivos biofotovoltaicos (BPV) utilizan organismos fotosintéticos, como algas o cianobacterias, integrados en sistemas que permiten la conversión de la energía solar en electricidad (Arias & Girón, 2019). Esta tecnología no solo ofrece una alternativa ecológica, sino que también tiene el potencial de ser más económica y escalable en comparación con otras fuentes de energía renovable.

A medida que el mundo avanza hacia la transición energética, es esencial explorar tecnologías emergentes como la biofotovoltaica, que podría desempeñar un papel fundamental en la diversificación del mix energético global (Carranza, 2018). Sin embargo, para que la biofotovoltaica alcance su máximo potencial, es necesario abordar desafíos técnicos y mejorar la eficiencia de los dispositivos existentes. Por lo tanto, este estudio se centra en el desarrollo y la eficiencia de los dispositivos biofotovoltaicos, analizando el estado actual de la tecnología y las perspectivas futuras (Chere, Gruezo, Martínez, & Mercado, 2024).

El objetivo principal de este estudio es realizar una revisión exhaustiva del estado del arte en el desarrollo y la eficiencia de dispositivos biofotovoltaicos, identificando los avances más significativos y los desafíos pendientes.

Materiales y Métodos

Este estudio se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica exhaustiva, con el objetivo de sintetizar el conocimiento existente sobre el desarrollo y la eficiencia de los dispositivos

biofotovoltaicos (BPV) desde el año 2000 hasta la fecha. La revisión incluyó la consulta de bases de datos académicas especializadas, tales como Scopus, Scielo, Dialnet, y Google Scholar, las cuales son reconocidas por su cobertura de literatura científica de alta calidad.

El proceso de selección de estudios se inició con la definición de criterios de inclusión específicos. Se seleccionaron artículos que abordaran directamente las variables de interés: desarrollo y eficiencia de dispositivos biofotovoltaicos. Se incluyeron estudios en diversos contextos, con especial énfasis en aquellos que exploran aplicaciones educativas y tecnológicas, lo que resultó en una recopilación inicial de 863 trabajos relacionados.

Para asegurar la relevancia y calidad de los estudios, se establecieron los siguientes criterios adicionales de inclusión:

Período de publicación: Artículos publicados entre el año 2000 y la fecha de corte del estudio.

Tipo de publicación: Estudios revisados por pares, incluidos artículos de investigación originales, revisiones, y artículos de conferencia relevantes.

Idioma: Solo se consideraron estudios en inglés y español, debido a la alta representatividad en la literatura científica internacional.

Cobertura temática: Se priorizaron estudios que abordaran la eficiencia energética de los dispositivos, los avances en materiales y tecnología, y las aplicaciones potenciales de la biofotovoltaica.

Procedimiento de síntesis

Una vez seleccionados los estudios relevantes, se procedió a la síntesis de la información siguiendo un enfoque sistemático. En primer lugar, se agruparon los estudios en categorías temáticas según las variables clave: desarrollo de dispositivos, eficiencia energética, materiales utilizados, y aplicaciones potenciales.

Cada grupo temático fue revisado en detalle para identificar patrones, tendencias y avances significativos. La información se sintetizó mediante la extracción de datos clave, tales como métodos de investigación, hallazgos principales, y recomendaciones de los autores. Se prestó especial atención a la evolución temporal de los desarrollos tecnológicos y a los factores que afectan la eficiencia de los dispositivos BPV.

Además, se realizó un análisis comparativo entre los diferentes estudios para evaluar la consistencia de los resultados y la convergencia de las conclusiones en torno a las mejores prácticas y los

desafíos comunes en el campo de la biofotovoltaica. Este procedimiento permitió identificar las brechas de conocimiento y las áreas que requieren mayor investigación, lo que se discutirá en las secciones posteriores del artículo.

El enfoque metodológico adoptado garantiza una revisión exhaustiva y crítica de la literatura existente, proporcionando una base sólida para las discusiones y conclusiones presentadas en este estudio.

Resultados

Desarrollo de dispositivos biofotovoltaicos

En los últimos años, se han logrado avances significativos en el desarrollo de dispositivos biofotovoltaicos (BPV). Estos avances incluyen mejoras tanto en el diseño como en los materiales utilizados, lo que ha permitido un progreso en la eficiencia y viabilidad de esta tecnología (Reinoso, 2019). Inicialmente, los BPV empleaban organismos fotosintéticos como las cianobacterias y algas en configuraciones relativamente simples (Cristobal, 2021). Sin embargo, investigaciones recientes han explorado la integración de estos organismos en estructuras más complejas y optimizadas, como electrodos modificados y nanomateriales conductores.

Se han reportado mejoras en la eficiencia de conversión energética gracias a la optimización de los electrodos, que ahora permiten una transferencia de electrones más eficiente desde los organismos fotosintéticos hacia el circuito externo (Safla, Arteaga, Játiva, & Giler, 2023). Además, el uso de materiales conductores como el grafeno y nanotubos de carbono ha demostrado un aumento en la conductividad y estabilidad de los dispositivos BPV, mejorando su rendimiento general (González et al., 2017).

Otro desarrollo significativo ha sido la ingeniería genética de organismos fotosintéticos, que ha permitido aumentar la producción de electrones y optimizar las rutas metabólicas para una mayor generación de energía. Estos avances, combinados con el uso de configuraciones modulares en el diseño de los dispositivos, han permitido una escalabilidad mejorada, haciendo que los BPV sean una opción más viable para aplicaciones prácticas (González, 2023).

Eficiencia energética

La eficiencia de conversión energética en los dispositivos biofotovoltaicos sigue siendo un desafío clave en su desarrollo. Los estudios revisados muestran una amplia variabilidad en los niveles de eficiencia, dependiendo de los materiales y organismos utilizados, así como de las condiciones experimentales (Sandoval-Ruiz, 2020). En general, las eficiencias reportadas oscilan entre el 0.1% y el 5%, siendo las cifras más altas obtenidas en dispositivos que utilizan materiales avanzados como nanopartículas de metal y biopelículas optimizadas (León, 2022).

Algunos estudios han demostrado que la eficiencia puede incrementarse mediante el uso de luces LED especializadas que coinciden con los espectros de absorción de los organismos fotosintéticos, optimizando así la captura de luz (Zelada, 2022). Además, se ha observado que la eficiencia energética tiende a mejorar en dispositivos donde se emplean estrategias de cultivo continuo de los organismos fotosintéticos, lo que permite un mantenimiento óptimo de la actividad biológica (Martínez et al., 2022).

A pesar de estos avances, la eficiencia de los BPV sigue siendo inferior a la de otras tecnologías fotovoltaicas convencionales, lo que subraya la necesidad de continuar investigando para cerrar esta brecha y hacer que los BPV sean competitivos en términos de rendimiento (Martínez et al., 2022).

Tendencias identificadas

Durante la revisión de la literatura, se identificaron varias tendencias emergentes en la investigación y desarrollo de dispositivos biofotovoltaicos:

Una tendencia clave es la integración de los BPV con otras tecnologías renovables, como celdas solares tradicionales, para crear sistemas híbridos que maximicen la producción de energía y mejoren la estabilidad del suministro (Martínez et al., 2022).

Hay un creciente interés en la exploración de materiales bioinspirados y nanomateriales que puedan mejorar la eficiencia de los dispositivos. Materiales como las proteínas fotosintéticas artificiales y los compuestos biocompatibles están siendo investigados por su potencial para incrementar la eficiencia de conversión energética (Minaya & Pérez, 2024).

La investigación también está enfocada en la optimización de las condiciones de operación, como la iluminación, la temperatura y el pH, para maximizar la eficiencia de los BPV en diferentes entornos (Naranjo et al., 2018).

Un área emergente es la evaluación de la sostenibilidad y la escalabilidad de los BPV para aplicaciones comerciales. Esto incluye estudios sobre el ciclo de vida de los materiales utilizados y la viabilidad económica de la producción a gran escala.

Se ha identificado una tendencia creciente hacia el uso de BPV en aplicaciones en zonas rurales y comunidades desfavorecidas, donde la energía sostenible y de bajo costo es crítica (Neumeier).

Aunque se han logrado avances importantes en el desarrollo y la eficiencia de los dispositivos biofotovoltaicos, aún existen desafíos significativos que deben abordarse para que esta tecnología pueda alcanzar su pleno potencial. Las tendencias actuales sugieren un enfoque multidisciplinario y la exploración de nuevas fronteras tecnológicas para mejorar el rendimiento y la viabilidad de los BPV (Popovich, Martin, & Leonardi, 2017).

Discusión

Los resultados obtenidos en esta revisión bibliográfica muestran que, aunque los dispositivos biofotovoltaicos (BPV) han experimentado avances significativos en diseño y materiales, la eficiencia de conversión energética sigue siendo un desafío importante. La comparación de estos hallazgos con la literatura existente confirma que, si bien las eficiencias reportadas han mejorado gradualmente, aún son significativamente inferiores a las de otras tecnologías fotovoltaicas más maduras, como las celdas solares de silicio. Esto sugiere que, aunque se han realizado progresos en la optimización de los materiales y las configuraciones de los BPV, se necesita una mayor investigación para cerrar la brecha de rendimiento con respecto a otras tecnologías.

La integración de materiales avanzados como el grafeno y los nanotubos de carbono, así como el uso de organismos fotosintéticos genéticamente modificados, han demostrado ser estrategias efectivas para mejorar el rendimiento de los BPV. Sin embargo, la variabilidad en los resultados de eficiencia reportados en diferentes estudios indica que aún no existe un consenso claro sobre las mejores prácticas en el diseño de estos dispositivos. Esto subraya la necesidad de estandarizar los métodos de evaluación y las condiciones experimentales para obtener resultados más consistentes.

Implicaciones para el futuro

Los resultados de esta revisión tienen importantes implicaciones para el futuro desarrollo de la tecnología biofotovoltaica. La continua investigación en la optimización de materiales y diseños

podría llevar a aumentos significativos en la eficiencia energética de los BPV, lo que a su vez podría hacer que esta tecnología sea más competitiva frente a otras fuentes de energía renovable. Además, la integración de los BPV en sistemas híbridos con otras tecnologías fotovoltaicas o renovables podría maximizar su utilidad, especialmente en aplicaciones específicas donde la sostenibilidad y la compatibilidad con el entorno biológico son cruciales.

Otra implicación clave es la necesidad de un enfoque más holístico que no solo se centre en la eficiencia, sino también en la sostenibilidad y la escalabilidad de los BPV. La adopción de materiales biocompatibles y procesos de fabricación sostenibles podría mejorar la viabilidad comercial de los BPV y facilitar su integración en sistemas energéticos a gran escala.

Limitaciones del estudio

Aunque esta revisión bibliográfica proporciona una visión integral del estado actual de la tecnología biofotovoltaica, presenta algunas limitaciones. En primer lugar, el enfoque se centró principalmente en estudios que abordan el desarrollo y la eficiencia de los BPV, lo que puede haber excluido investigaciones relevantes que se centran en otros aspectos, como la sostenibilidad económica o las aplicaciones prácticas. Además, el estudio se limitó a artículos publicados en inglés y español, lo que podría haber restringido el acceso a investigaciones publicadas en otros idiomas.

Otra limitación es la posible exclusión de estudios relevantes debido a la restricción temporal (a partir del año 2000). Aunque se eligió esta fecha para asegurar la inclusión de las investigaciones más recientes, es posible que se hayan omitido trabajos pioneros que podrían ofrecer perspectivas valiosas sobre el desarrollo temprano de los BPV.

Recomendaciones para la investigación futura

Para avanzar en el desarrollo de dispositivos biofotovoltaicos, se recomienda lo siguiente:

Es crucial desarrollar y adoptar métodos estandarizados para evaluar la eficiencia y el rendimiento de los BPV. Esto facilitará la comparación entre estudios y permitirá identificar con mayor claridad las prácticas más efectivas.

Se debería fomentar la colaboración entre disciplinas como la biología, la ingeniería de materiales y la química, para explorar nuevas combinaciones de organismos fotosintéticos y materiales avanzados que podrían mejorar la eficiencia de los BPV.

La investigación en materiales alternativos, como compuestos biocompatibles y nanomateriales, debe intensificarse para identificar opciones que puedan aumentar la eficiencia energética sin comprometer la sostenibilidad.

Es necesario realizar estudios detallados sobre el ciclo de vida de los BPV, incluyendo el impacto ambiental de su producción y uso. Esto ayudará a determinar la viabilidad de su implementación a gran escala y a identificar áreas donde se puedan hacer mejoras.

Se recomienda explorar aplicaciones prácticas específicas para los BPV, especialmente en áreas donde otras tecnologías renovables no son viables. Esto podría incluir su uso en entornos rurales o en aplicaciones de bajo consumo energético.

Impacto potencial en el sector energético

La biofotovoltaica tiene el potencial de ser una pieza clave en el futuro mix energético, especialmente en el contexto de una transición hacia fuentes de energía más sostenibles. Aunque actualmente los BPV no son tan eficientes como otras tecnologías fotovoltaicas, su capacidad para ser integrados en sistemas biológicos y su potencial para la producción de energía en condiciones donde otras tecnologías fallan los convierte en una opción atractiva.

A medida que la investigación continúe y se superen los desafíos actuales, los BPV podrían desempeñar un papel importante en la descentralización de la producción de energía, proporcionando una fuente de energía limpia y sostenible para comunidades aisladas o en áreas donde el impacto ambiental debe ser minimizado. En última instancia, la biofotovoltaica podría contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de carbono y al avance hacia una economía global más sostenible.

Conclusiones

Se han realizado progresos significativos en el diseño y los materiales utilizados en los BPV, incluyendo la integración de nanomateriales como el grafeno y el uso de organismos fotosintéticos genéticamente modificados. Estas innovaciones han mejorado la eficiencia de los BPV, aunque siguen enfrentando desafíos para igualar la eficiencia de otras tecnologías fotovoltaicas.

Los estudios revisados muestran una amplia variabilidad en la eficiencia de conversión energética de los BPV, con rangos reportados entre el 0.1% y el 5%. Aunque existen casos de mejoras

notables, la eficiencia general sigue siendo inferior a la de otras alternativas renovables, subrayando la necesidad de continuar optimizando tanto los materiales como los métodos de operación.

La investigación reciente ha identificado varias tendencias prometedoras, como la integración de tecnologías híbridas, el desarrollo de nuevos materiales bioinspirados y la optimización de las condiciones de operación de los BPV. Estas tendencias sugieren un futuro prometedor para la biofotovoltaica, siempre que se aborden los desafíos técnicos y económicos actuales.

Las limitaciones identificadas en los estudios existentes, junto con la variabilidad en los resultados de eficiencia, indican que se requiere una mayor investigación, especialmente en la estandarización de métodos de evaluación, la exploración de nuevos materiales y el análisis de sostenibilidad.

Los dispositivos biofotovoltaicos aún no han alcanzado su pleno potencial en términos de eficiencia energética y viabilidad comercial, los avances recientes y las tendencias emergentes ofrecen una base sólida para el desarrollo futuro de esta tecnología. Con el enfoque adecuado en la investigación y la innovación, los BPV podrían convertirse en una fuente clave de energía sostenible en el futuro.

Referencias

1. Arias García, J., & Girón López, F. (2019). Prototipo para la generación de energía eléctrica a través de plantas con arduino. Retrieved from
2. Carranza Ruiz, M. F. (2018). Urbanización autosustentable para Naranjito. Guayaquil: ULVR, 2018.,
3. Chere-Quiñónez, B. F., Gruezo, G. A. A., Martínez-Peralta, A. J., & Mercado-Bautista, J. D. J. R. C. I. I. y. S. (2024). Technical-economic analysis of a grid-connected photovoltaic system. 14(1), 125-157.
4. Cristobal Sánchez, R. (2021). Atmósferas construidas. Tecnología frente a la contaminación ambiental.
5. Gonzalez, A., Bresner, S., Díaz, S., & De Jesús, M. (2017). Lámpara sustentable por medio de energía biofotovoltaica. Retrieved from
6. González Martínez, I. (2023). Nuevos modos de habitar/nuevos modelos de convivencia.
7. Leon Capacyachi, F. d. P. (2022). Generación de energía limpia, no convencional, sostenible empleando raíces de plantas hidropónicas-Lima, 2022.
8. Martínez-Peralta, A. J., Chere-Quiñónez, B. F., Charcopa-Paz, L. E., Orobio-Arboleda, T. J., & Alcívar-Vallejo, C. A. J. D. d. I. C. (2022). Configuración del diseño óptimo de un

- sistema de energía híbrido solar-eólica conectado a la red utilizando el software HOMER. 8(2), 469-479.
9. Martínez-Peralta, A. J., Chere-Quiñónez, B. F., Guzmán-López, J. L., Orobio-Arboleda, T. J., & Valencia-Bautista, E. L. J. D. d. l. C. (2022). Diseño de una instalación solar fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica de una vivienda unifamiliar en la parroquia rural Vuelta Larga del cantón Esmeraldas. 8(1), 887-908.
 10. Martínez-Peralta, A. J., Ulloa-de Souza, R. C., Chere-Quiñónez, B. F., & Mercado-Bautista, J. D. J. S. I. J. o. I. S. (2022). Diseño de un sistema de energía híbrido conectado a la red. 3(2), 585-592.
 11. Minaya Vergara, J. M., & Pérez Canales, C. E. (2024). Cultivo Hidropónico recirculante de Plantas Magnoliopsida para la generación de Energía Biofotovoltaica.
 12. Naranjo Castañeda, F. A., Chávez Martínez, M., Holguín Quiñones, S., Martínez Jiménez, A., Palacios Grijalva, L. N., & Salcedo Luna, M. C. (2018). Estudio y caracterización de pedernal del Municipio de Tepalcingo Morelos, México.
 13. Neumeier, M. Techos verdes aumentan la eficiencia de los paneles solares.
 14. Popovich, C. A., Martin, L. A., & Leonardi, P. I. (2017). Biorrefinería microalgal: fuente de materia prima sustentable para la generación de bioenergía y bioproductos. In: Universidad Científica del Sur.
 15. Pozo García, A. (2021). La vertiente Biotec de los materiales tradicionales y nuevos.
 16. Reinoso Otero, P. (2019). Eficiencia Energética con renovables en un hotel.
 17. Safla, L. O. B., Arteaga, G. G. A., Játiva, M. M. V., & Giler, J. E. S. J. S. L. r. c. d. I. (2023). Energía Biofotovoltaica: Las Plantas como Fuente Alternativa de Energía Renovable en Portoviejo, Provincia de Manabí. 1(22), 4.
 18. Sandoval-Ruiz, C. E. J. I. R. d. l. U. d. C. R. (2020). Arreglos fotovoltaicos inteligentes con modelo LFSR-reconfigurable. 30(2), 32-61.
 19. Zelada-Ramírez, J. D. (2022). Síntesis de nanobarras de TiO₂ por método hidrotérmal para aplicación como fotoánodo en una celda biofotovoltaica.