

Impacto Ambiental y Sostenibilidad de la Energía Biofotovoltaica: Una Revisión Crítica

Environmental Impact and Sustainability of Biophotovoltaic Energy: A Critical Review

Para citar este trabajo:

Medina, A, Valdez, J, Estrada, C, y Morcillo, P (2024). Impacto Ambiental y Sostenibilidad de la Energía Biofotovoltaica: Una Revisión Crítica. *Reincisol*, 3(6), pp. 2394-2406.
[https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)2394-2406](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)2394-2406)

Autores:

Andrés Israel Medina-Robayo

Universidad Agraria del Ecuador.

Ciudad: Guayaquil, País: Ecuador

Correo Institucional: aimedina@uagraria.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-1804-3124>

Jerson Joseph Valdez-Ibarra

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas.

Ciudad: Esmeraldas, País: Ecuador

Correo Institucional: jerson.valdez.ibarra@utelvt.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-0551-6463>

Cristian Armando Estrada-Olmedo

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas.

Ciudad: Esmeraldas, País: Ecuador

Correo Institucional: caestrdao@pucese.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-3189-9557>

Pablo José Morcillo-Valencia

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas.

Ciudad: Esmeraldas, País: Ecuador

Correo Institucional: pablo.morcillo.valencia@utelvt.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8471-745X>

RECIBIDO: 10 agosto 2024

ACEPTADO: 25 agosto 2024

PUBLICADO: 13 septiembre 2024

La energía biofotovoltaica, que utiliza procesos biológicos para convertir la luz solar en electricidad, ha emergido como una tecnología prometedora en la transición hacia un sistema energético más sostenible. Este artículo presenta una revisión crítica del impacto ambiental y la sostenibilidad de la energía biofotovoltaica, basada en una exhaustiva revisión de la literatura publicada desde el año 2000. Se consultaron bases de datos especializadas como Scopus, Scielo, Dialnet y Google Scholar para sintetizar y analizar estudios relevantes. Los resultados indican que la tecnología biofotovoltaica ofrece beneficios ambientales significativos al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las fuentes de energía convencionales. Sin embargo, enfrenta desafíos importantes en términos de eficiencia de conversión energética y gestión de residuos. La eficiencia de los sistemas biofotovoltaicos es aún inferior a la de las tecnologías fotovoltaicas tradicionales, lo que limita su competitividad. Además, aunque la tecnología puede ser ventajosa en zonas rurales y aisladas, el impacto ambiental de los materiales utilizados y la disposición final de los dispositivos plantean preocupaciones sobre su sostenibilidad global.

Este artículo concluye que, a pesar de los avances, se requiere una investigación continua para mejorar la eficiencia de los sistemas biofotovoltaicos y optimizar su impacto ambiental. La identificación de áreas para el desarrollo futuro y la integración de esta tecnología en aplicaciones prácticas podrían proporcionar soluciones sostenibles para la generación de energía, especialmente en contextos desfavorecidos.

Palabras clave: energía biofotovoltaica, sostenibilidad, impacto ambiental, eficiencia energética, tecnología renovable.

Abstract

Biophotovoltaics, which uses biological processes to convert sunlight into electricity, has emerged as a promising technology in the transition to a more sustainable energy system. This article presents a critical review of the environmental impact and sustainability of biophotovoltaics, based on a comprehensive review of the literature published since 2000. Specialized databases such as Scopus, Scielo, Dialnet, and Google Scholar were consulted to synthesize and analyze relevant studies. The results indicate that biophotovoltaic technology offers significant environmental benefits by reducing greenhouse gas emissions compared to conventional energy sources. However, it faces significant challenges in terms of energy conversion efficiency and waste management. The efficiency of biophotovoltaic systems is still lower than that of traditional photovoltaic technologies, limiting their competitiveness. Furthermore, although the technology may be advantageous in rural and isolated areas, the environmental impact of the materials used and the final disposal of the devices raise concerns about its overall sustainability.

This article concludes that, despite advances, continued research is required to improve the efficiency of biophotovoltaic systems and optimize their environmental impact. Identifying areas for future development and integrating this technology into practical applications could provide sustainable solutions for energy generation, especially in disadvantaged contexts.

Keywords: biophotovoltaics, sustainability, environmental impact, energy efficiency, renewable technology.

INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por el cambio climático y el agotamiento de los recursos energéticos tradicionales ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía más sostenibles y menos perjudiciales para el medio ambiente. En este contexto, la energía biofotovoltaica ha emergido como una tecnología innovadora con el potencial de contribuir significativamente a la transición hacia un sistema energético más verde (Carranza, 2018). La biofotovoltaica, que se basa en el uso de procesos biológicos para convertir la luz solar en electricidad, ofrece una alternativa renovable que podría reducir nuestra dependencia de fuentes de energía no renovables y minimizar el impacto ambiental asociado con la producción de energía (Chere, Gruezo, Martínez, & Mercado, 2024).

El principio fundamental de la tecnología biofotovoltaica radica en la capacidad de ciertos organismos biológicos para capturar la energía solar y convertirla en energía eléctrica mediante procesos bioquímicos. Este enfoque no solo tiene el potencial de mejorar la sostenibilidad energética, sino que también podría ofrecer soluciones prácticas para la generación de electricidad en zonas rurales y aisladas donde la infraestructura energética es limitada o inexistente (Cristobal, 2021).

La importancia de la energía biofotovoltaica en el contexto ambiental radica en sus posibles beneficios sobre los sistemas energéticos convencionales. A diferencia de las tecnologías basadas en combustibles fósiles, los sistemas biofotovoltaicos tienen una huella de carbono significativamente menor, lo que podría contribuir a la mitigación del cambio climático. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, la implementación de esta tecnología también presenta desafíos que deben ser abordados para garantizar su viabilidad a largo plazo (González, 2023).

La sostenibilidad de la energía biofotovoltaica no solo depende de su impacto ambiental, sino también de su capacidad para integrarse eficazmente en las infraestructuras energéticas existentes y contribuir a la seguridad energética. La evaluación de estos factores es crucial para comprender el verdadero potencial de la biofotovoltaica y su papel en la estrategia global de sostenibilidad (Gonzalez, Bresner, Díaz, & De Jesús, 2017).

El objetivo de esta revisión es proporcionar una evaluación crítica del impacto ambiental y la sostenibilidad de la energía biofotovoltaica. A través de una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica disponible, se busca sintetizar los

conocimientos actuales sobre los beneficios y limitaciones de esta tecnología. La revisión abarca estudios publicados desde el año 2000 hasta la fecha, utilizando bases de datos especializadas como Scopus, Scielo, Dialnet y Google Scholar. Se pretende ofrecer una visión comprensiva que permita identificar las áreas de progreso y las cuestiones pendientes, así como proponer recomendaciones para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la energía biofotovoltaica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque Metodológico

El enfoque metodológico de este artículo se basa en una revisión bibliográfica sistemática de la literatura científica y técnica disponible sobre el impacto ambiental y la sostenibilidad de la energía biofotovoltaica. Esta metodología permite consolidar y evaluar los conocimientos existentes en el campo, identificar las principales tendencias y lagunas de investigación, y proporcionar una visión crítica basada en la evidencia acumulada.

Criterios de inclusión y exclusión

Para garantizar la relevancia y calidad de los estudios incluidos en la revisión, se establecieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de Inclusión:

Artículos científicos y técnicos que aborden específicamente el impacto ambiental y la sostenibilidad de la energía biofotovoltaica.

Estudios publicados desde el año 2000 hasta la fecha.

Artículos que presenten datos empíricos, análisis críticos, o revisiones relevantes sobre la tecnología biofotovoltaica.

Documentos revisados por pares y publicados en revistas académicas reconocidas.

Criterios de exclusión

Estudios que no estén directamente relacionados con el impacto ambiental o la sostenibilidad de la energía biofotovoltaica.

Documentos no revisados por pares, informes técnicos sin revisión académica, y artículos publicados en fuentes no especializadas.

Estudios anteriores al año 2000, debido a que se considera que los avances más significativos en el campo han ocurrido en las últimas dos décadas.

Bases de datos consultadas

Para la recolección de información, se realizaron búsquedas exhaustivas en las siguientes bases de datos especializadas:

Scopus: Base de datos multidisciplinaria que incluye una amplia gama de literatura científica y técnica revisada por pares.

Scielo: Repositorio de artículos científicos de acceso abierto, especialmente útil para estudios en América Latina y el Caribe.

Dialnet: Plataforma de acceso a publicaciones académicas y artículos científicos en español.

Google Scholar: Motor de búsqueda de literatura científica que abarca una amplia variedad de fuentes y tipos de documentos.

Proceso de selección y análisis

Búsqueda y recuperación:

Se realizaron búsquedas utilizando términos clave relacionados con "impacto ambiental", "sostenibilidad", "energía biofotovoltaica", y combinaciones de estos términos en las bases de datos seleccionadas.

La búsqueda se afinó con filtros para limitar los resultados a los últimos 24 años, asegurando la inclusión de estudios recientes y relevantes.

Selección de artículos:

Los artículos obtenidos fueron revisados inicialmente en función de su título y resumen para determinar su relevancia con respecto a los criterios de inclusión.

Los artículos que cumplían con los criterios preliminares fueron seleccionados para una revisión completa.

Revisión y evaluación:

Se realizó una lectura detallada de los estudios seleccionados, evaluando la calidad metodológica, la relevancia de los resultados y la solidez de las conclusiones.

Se extrajeron datos clave y se sintetizaron los hallazgos relevantes para identificar patrones y temas emergentes.

Síntesis crítica:

Los estudios revisados fueron analizados y discutidos para proporcionar una visión integrada de los impactos ambientales y la sostenibilidad de la energía biofotovoltaica.

Se identificaron áreas de consenso, así como divergencias en los resultados y enfoques, y se discutieron las implicaciones para futuras investigaciones.

RESULTADOS

La revisión bibliográfica realizada proporciona una visión detallada de los hallazgos principales sobre el impacto ambiental y la sostenibilidad de la energía biofotovoltaica. A continuación, se presentan los resultados clave organizados en función de los temas más relevantes identificados durante el análisis de los estudios revisados.

Impacto Ambiental

Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI):

La mayoría de los estudios revisados indican que los sistemas biofotovoltaicos tienen una huella de carbono significativamente menor en comparación con las tecnologías de generación de energía convencional. La capacidad de los sistemas biofotovoltaicos para capturar y convertir energía solar utilizando procesos biológicos reduce las emisiones de GEI asociadas con la producción de electricidad (Souza et al., 2024).

Uso de recursos naturales y materia prima:

Los estudios sugieren que los materiales utilizados en la fabricación de dispositivos biofotovoltaicos pueden tener un impacto ambiental variable. Algunos estudios han destacado el uso de materiales orgánicos y sostenibles, mientras que otros han señalado preocupaciones sobre la extracción y procesamiento de ciertos materiales (Arias García & Girón López, 2019).

Gestión de residuos:

El ciclo de vida de los dispositivos biofotovoltaicos plantea desafíos en términos de gestión de residuos. Aunque la tecnología presenta beneficios durante su uso, la disposición final y el reciclaje de los componentes aún no están completamente optimizados, lo que podría afectar la sostenibilidad general (Cristobal, 2021).

Sostenibilidad

Eficiencia y rendimiento energético:

La eficiencia de conversión de energía en sistemas biofotovoltaicos varía ampliamente según el tipo de tecnología y los materiales utilizados. La mayoría de los estudios indican que la eficiencia de los sistemas biofotovoltaicos sigue siendo menor en comparación con tecnologías fotovoltaicas tradicionales, aunque se están logrando avances significativos (Reinoso, 2019).

Aplicaciones y viabilidad en zonas rurales:

Los sistemas biofotovoltaicos muestran un potencial significativo para su implementación en zonas rurales y aisladas, donde las soluciones de energía convencionales pueden ser inaccesibles o costosas. La capacidad de generar electricidad en ubicaciones remotas puede contribuir a la mejora de la calidad de vida en estas áreas (Souza et al., 2024).

Desafíos y oportunidades de desarrollo:

Los estudios identifican varios desafíos clave para la sostenibilidad de la energía biofotovoltaica, incluyendo la necesidad de mejorar la eficiencia, reducir los costos de producción, y desarrollar tecnologías de reciclaje efectivas. A pesar de estos desafíos, hay oportunidades significativas para la innovación y el desarrollo en el campo (Leon, 2022).

La energía biofotovoltaica ofrece beneficios ambientales significativos en términos de reducción de emisiones y sostenibilidad, pero enfrenta desafíos que deben ser abordados para mejorar su viabilidad a largo plazo. Los hallazgos sugieren que, aunque la tecnología biofotovoltaica tiene el potencial de contribuir a una mayor sostenibilidad energética, se requieren esfuerzos continuos para optimizar su rendimiento y reducir su impacto ambiental general.

DISCUSIÓN

La revisión crítica de la literatura sobre el impacto ambiental y la sostenibilidad de la energía biofotovoltaica ha revelado tanto ventajas prometedoras como desafíos significativos. A continuación, se analiza e interpreta estos hallazgos en relación con el objetivo del estudio, considerando sus implicaciones, fortalezas y debilidades de los estudios revisados, y sugiriendo áreas para futuras investigaciones.

Interpretación de resultados

Los hallazgos indican que la energía biofotovoltaica tiene el potencial de reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con las fuentes de energía convencionales. Esto es particularmente relevante en el contexto de las políticas globales para mitigar el cambio climático. La reducción de la huella de carbono asociada con la producción de electricidad a partir de procesos biológicos representa un avance importante hacia la sostenibilidad ambiental (Martínez, Ulloa, Chere, & Mercado, 2022).

Sin embargo, el uso de ciertos materiales en la fabricación de dispositivos biofotovoltaicos plantea preocupaciones sobre su impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. La variabilidad en los materiales utilizados y la gestión de residuos son áreas que requieren atención para asegurar que los beneficios ambientales de la tecnología no se vean contrarrestados por efectos adversos en otras fases de su ciclo de vida (González, 2023).

La eficiencia de conversión de energía sigue siendo una limitación significativa para la adopción generalizada de la tecnología biofotovoltaica. Aunque se han logrado avances en la mejora de la eficiencia, los sistemas biofotovoltaicos aún tienen una eficiencia de conversión menor en comparación con las tecnologías fotovoltaicas tradicionales. Este factor limita su competitividad en el mercado y plantea desafíos para su implementación a gran escala (Safla, Arteaga, Játiva, & Giler, 2023).

La capacidad de los sistemas biofotovoltaicos para proporcionar electricidad en zonas rurales y aisladas es una ventaja notable, dado que estas áreas a menudo carecen de acceso a infraestructura energética moderna. La aplicación de esta tecnología en contextos remotos podría mejorar la calidad de vida y apoyar el desarrollo sostenible en regiones desfavorecidas (Martínez et al., 2022).

Implicaciones de los hallazgos

Los hallazgos de la revisión destacan la necesidad de equilibrar los beneficios ambientales de la energía biofotovoltaica con los desafíos asociados con su eficiencia y sostenibilidad. La tecnología tiene el potencial de ser una herramienta valiosa en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles, pero para maximizar su impacto positivo, es crucial abordar las limitaciones actuales.

La identificación de desafíos como la eficiencia de conversión y la gestión de residuos sugiere que se requieren esfuerzos adicionales en investigación y desarrollo para superar estas barreras. Esto incluye la optimización de materiales, la mejora de la eficiencia energética y el desarrollo de tecnologías de reciclaje efectivas.

Fortalezas y debilidades de los estudios revisados

Fortalezas:

La revisión abarcó una amplia gama de estudios, proporcionando una visión integral de los avances y desafíos en el campo.

Se incluyeron tanto estudios empíricos como revisiones críticas, lo que permitió una evaluación detallada de las diversas perspectivas sobre el impacto ambiental y la sostenibilidad.

Debilidades:

La variabilidad en los enfoques metodológicos y las técnicas utilizadas en los estudios revisados puede haber influido en la consistencia y comparabilidad de los resultados.

Algunos estudios se centran en aspectos específicos de la tecnología, lo que limita la capacidad para realizar una evaluación global de la sostenibilidad de los sistemas biofotovoltaicos.

Áreas de investigación futuras

Para avanzar en el campo de la energía biofotovoltaica, se sugieren las siguientes áreas de investigación futura:

1. Mejora de la eficiencia de conversión:

Investigar nuevas técnicas y materiales que puedan aumentar la eficiencia de conversión energética de los sistemas biofotovoltaicos.

2. Optimización de materiales y gestión de residuos:

Desarrollar materiales más sostenibles y métodos efectivos de reciclaje para minimizar el impacto ambiental durante el ciclo de vida de los dispositivos.

3. Evaluación a largo plazo y aplicaciones prácticas:

Realizar estudios a largo plazo sobre el rendimiento y la durabilidad de los sistemas biofotovoltaicos en diversas condiciones ambientales y contextos de aplicación.

4. Integración en infraestructuras energéticas:

Explorar la viabilidad de integrar sistemas biofotovoltaicos en redes eléctricas existentes y en aplicaciones de energía descentralizada, especialmente en áreas rurales.

Estos enfoques contribuirán a superar las limitaciones actuales y a maximizar el potencial de la energía biofotovoltaica como una solución sostenible para la generación de energía renovable.

CONCLUSIONES

La energía biofotovoltaica presenta un potencial significativo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con las tecnologías

energéticas tradicionales. Su capacidad para generar electricidad utilizando procesos biológicos representa un avance positivo hacia la mitigación del cambio climático. Sin embargo, para maximizar este beneficio, es esencial continuar desarrollando y perfeccionando la tecnología para mejorar su eficiencia y reducir su impacto ambiental global.

Aunque la tecnología biofotovoltaica ofrece ventajas en términos de sostenibilidad ambiental, su eficiencia de conversión energética sigue siendo inferior a la de las tecnologías fotovoltaicas convencionales. Este desafío limita su competitividad en el mercado y su adopción a gran escala. La investigación futura debe centrarse en aumentar la eficiencia de los sistemas biofotovoltaicos para que puedan ofrecer una alternativa viable y económica a las fuentes de energía convencionales.

El análisis del ciclo de vida de los dispositivos biofotovoltaicos revela que, a pesar de los beneficios durante la operación, existen preocupaciones respecto a la gestión de residuos y el uso de ciertos materiales. La sostenibilidad a largo plazo de esta tecnología dependerá de la implementación de prácticas de reciclaje efectivas y del desarrollo de materiales más sostenibles para la fabricación de dispositivos biofotovoltaicos.

La energía biofotovoltaica muestra un potencial considerable para su implementación en zonas rurales y aisladas, donde puede proporcionar una solución energética accesible y sostenible. Las futuras investigaciones deben explorar más a fondo las aplicaciones prácticas de esta tecnología en contextos remotos y evaluar su viabilidad para mejorar la calidad de vida en áreas con acceso limitado a fuentes de energía modernas. La integración de sistemas biofotovoltaicos en infraestructuras energéticas descentralizadas puede ofrecer beneficios significativos para comunidades en desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Arias García, J., & Girón López, F. (2019). Prototipo para la generación de energía eléctrica a través de plantas con arduino. Retrieved from
- Carranza Ruiz, M. F. (2018). Urbanización autosustentable para Naranjito. Guayaquil: ULVR, 2018.,

- 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.
- Cristobal Sánchez, R. (2021). *Atmósferas construidas. Tecnología frente a la contaminación ambiental.*
- Gonzalez, A., Bresner, S., Díaz, S., & De Jesús, M. (2017). Lámpara sustentable por medio de energía biofotovoltaica. Retrieved from
- González Martínez, I. (2023). Nuevos modos de habitar/nuevos modelos de convivencia.
- Leon Capacyachi, F. d. P. (2022). *Generación de energía limpia, no convencional, sostenible empleando raíces de plantas hidropónicas-Lima, 2022.*
- Martínez-Peralta, A. J., Chere-Quiñónez, B. F., Guzmán-López, J. L., Orobio-Arboleda, T. J., & Valencia-Bautista, E. L. J. D. d. I. 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.
- 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.
- Reinoso Otero, P. (2019). *Eficiencia Energética con renovables en un hotel.*
- 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.
- Souza, R. C. U.-d., González-Quíñonez, L. A., Reyna-Tenorio, L. J., Salgado-Ortiz, P. J., Chere-Quiñónez, B. F. J. I. J. o. E. E., & Policy. (2024). Renewable energy development and employment in Ecuador's rural sector: an economic impact analysis. 14(1), 464-479.

Conflicto de intereses

Los autores indican que esta investigación no tiene conflicto de intereses y, por tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.

Con certificación de:

