



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i3.4015>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Optimización de la Conversión Energética en Células Biofotovoltaicas: Análisis de Técnicas y Materiales

Optimization of Energy Conversion in Biophotovoltaic Cells: Analysis of Techniques and Materials

Otimização da Conversão de Energia em Células Biofotovoltaicas: Análise de Técnicas e Materiais

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

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

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

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

Correspondencia: caestrdao@pucese.edu.ec

***Recibido:** 16 de julio de 2024 ***Aceptado:** 03 de agosto de 2024 * **Publicado:** 11 de septiembre de 2024

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

Resumen

Este artículo presenta una revisión exhaustiva sobre la optimización de la conversión energética en células biofotovoltaicas (BFCs), abordando técnicas y materiales clave que han demostrado mejorar su eficiencia. El estudio se motivó por la creciente necesidad de desarrollar tecnologías de energía renovable más efectivas y sostenibles. La metodología empleada consistió en una revisión bibliográfica de artículos relevantes publicados desde el año 2000, utilizando bases de datos especializadas como Scopus, Scielo, Dialnet y Google Scholar. Los hallazgos principales indican que las técnicas de optimización, como la modificación de condiciones ambientales y el diseño avanzado de células, han logrado mejoras significativas en la eficiencia energética. Los materiales biológicos, como bacterias fotosintéticas y algas, junto con los nanomateriales, también han contribuido a un aumento notable en la conversión de energía. Las tendencias emergentes, como la ingeniería genética y la integración de nuevos materiales, ofrecen un gran potencial para futuros desarrollos. Las conclusiones sugieren que, aunque los avances son prometedores, se requiere más investigación en escalabilidad, durabilidad y integración tecnológica para potenciar la adopción práctica de BFCs. Este estudio proporciona una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de la energía renovable.

Palabras clave: Células biofotovoltaicas; optimización energética; materiales biológico; nanomateriales; energía renovable.

Abstract

This article presents a comprehensive review on the optimization of energy conversion in biophotovoltaic cells (BFCs), addressing key techniques and materials that have been shown to improve their efficiency. The study was motivated by the growing need to develop more effective and sustainable renewable energy technologies. The methodology used consisted of a bibliographic review of relevant articles published since 2000, using specialized databases such as Scopus, Scielo, Dialnet and Google Scholar. The main findings indicate that optimization techniques, such as modification of environmental conditions and advanced cell design, have achieved significant improvements in energy efficiency. Biological materials, such as photosynthetic bacteria and algae, along with nanomaterials, have also contributed to a notable increase in energy conversion. Emerging trends, such as genetic engineering and the integration of new materials, offer great potential for

future developments. The conclusions suggest that, although advances are promising, more research is required on scalability, durability, and technological integration to enhance the practical adoption of BFCs. This study provides a solid foundation for future research and applications in the field of renewable energy.

Keywords: Biophotovoltaic cells; energy optimization; biological materials; nanomaterials; renewable energy.

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão abrangente sobre a otimização da conversão de energia em células biofotovoltaicas (BFCs), abordando as principais técnicas e materiais que demonstraram melhorar sua eficiência. O estudo foi motivado pela crescente necessidade de desenvolver tecnologias de energia renovável mais eficazes e sustentáveis. A metodologia utilizada consistiu em uma revisão bibliográfica de artigos relevantes publicados desde 2000, utilizando bases de dados especializadas como Scopus, Scielo, Dialnet e Google Scholar. As principais conclusões indicam que as técnicas de otimização, como a modificação das condições ambientais e o design avançado das células, alcançaram melhorias significativas na eficiência energética. Materiais biológicos, como bactérias fotossintéticas e algas, juntamente com nanomateriais, também contribuíram para um aumento notável na conversão de energia. Tendências emergentes, como a engenharia genética e a integração de novos materiais, oferecem um grande potencial para desenvolvimentos futuros. As conclusões sugerem que, embora os avanços sejam promissores, são necessárias mais pesquisas sobre escalabilidade, durabilidade e integração tecnológica para melhorar a adoção prática dos BFCs. Este estudo fornece uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações no campo das energias renováveis.

Palavras-chave: Células biofotovoltaicas; otimização energética; materiais biológicos; nanomateriais; energia renovável.

Introducción

Las células biofotovoltaicas (BFCs) son dispositivos innovadores que utilizan materiales biológicos, como microorganismos y biomoléculas, para convertir la energía solar en electricidad. Esta tecnología se basa en el principio de fotosíntesis natural, en el que los organismos fotosintéticos

Optimización de la Conversión Energética en Células Biofotovoltaicas: Análisis de Técnicas y Materiales

capturan la luz solar y la convierten en energía química, adaptado para la generación de electricidad (Sandoval, 2020).

La relevancia de las BFCs radica en su capacidad para proporcionar una fuente de energía limpia y renovable. Son especialmente valiosas en aplicaciones donde la sostenibilidad y el impacto ambiental son prioridades, como en áreas rurales o remotas donde la infraestructura eléctrica es limitada (Arias & Girón, 2019).

Además, las BFCs pueden integrarse en sistemas híbridos para mejorar la eficiencia energética en diferentes contextos, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y promoviendo el uso de tecnologías verdes (Martínez, Ulloa, Chere, & Mercado, 2022).

En términos de aplicaciones globales, las BFCs tienen el potencial de impactar diversos contextos continentales, como en África que cuenta con algunas regiones con acceso limitado a la electricidad, las BFCs podrían proporcionar una fuente de energía renovable y accesible, mejorando la calidad de vida y apoyando el desarrollo económico (Popovich, Martin, & Leonardi, 2017).

En Asia algunos países en desarrollo como, las BFCs podrían integrarse en sistemas híbridos para aplicaciones rurales, contribuyendo a la sostenibilidad energética y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles (Minaya & Pérez, 2024).

Europa y América del Norte, aunque estas regiones tienen infraestructura energética avanzada, las BFCs podrían utilizarse en aplicaciones especializadas, como dispositivos electrónicos portátiles o sistemas de energía autónomos en entornos urbanos y rurales.

En América Latina, cuentas con áreas con alta irradiación solar, las BFCs podrían complementar otras fuentes de energía renovable, ayudando a diversificar la matriz energética y promover la tecnología verde.

A pesar de su potencial, la optimización de la conversión energética en células biofotovoltaicas enfrenta varios desafíos significativos. Uno de los principales problemas es la eficiencia de conversión, que sigue siendo relativamente baja en comparación con otras tecnologías fotovoltaicas (Naranjo et al., 2018). Los factores que afectan esta eficiencia incluyen la calidad y estabilidad de los materiales biológicos, la efectividad de los diseños de células y los métodos de fabricación. Además, la escalabilidad y la durabilidad de las BFCs presentan obstáculos adicionales para su adopción generalizada (Neumeier). Estos desafíos limitan la capacidad de las BFCs para competir con otras fuentes de energía renovable y reducen su viabilidad para aplicaciones comerciales a gran escala.

El objetivo de esta revisión es analizar y evaluar las técnicas y materiales actuales utilizados para mejorar la conversión energética en células biofotovoltaicas.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo la revisión bibliográfica, se consultaron varias bases de datos especializadas, con el fin de obtener una visión exhaustiva y actualizada sobre la optimización de la conversión energética en células biofotovoltaicas. Las bases de datos utilizadas incluyen:

Scopus: Una base de datos multidisciplinaria que proporciona acceso a una amplia colección de artículos revisados por pares, ofreciendo una cobertura completa en el ámbito de la ciencia y tecnología.

SciELO: Una base de datos que se enfoca en la literatura científica de América Latina y el Caribe, proporcionando acceso a investigaciones relevantes en diversas áreas científicas.

Dialnet: Una plataforma que ofrece acceso a literatura académica en el ámbito hispanohablante, con énfasis en documentos de investigación y artículos científicos.

Google Scholar: Un motor de búsqueda de literatura académica que permite acceder a una amplia gama de artículos científicos, tesis, libros y conferencias.

Criterios de inclusión

Para garantizar la relevancia y calidad de los estudios seleccionados, se aplicaron los siguientes criterios de inclusión:

Fecha de publicación: Se consideraron artículos publicados desde el año 2000 hasta la fecha actual para asegurar la cobertura de las investigaciones más recientes y relevantes en el campo.

Relevancia temática: Los estudios seleccionados debían estar directamente relacionados con la optimización y conversión energética en células biofotovoltaicas. Esto incluye investigaciones sobre técnicas de optimización, nuevos materiales biológicos, y mejoras en el diseño de células.

Calidad de la investigación: Se priorizaron artículos revisados por pares y estudios que presentaran metodologías rigurosas y resultados significativos en el contexto de la eficiencia energética de BFCs.

Método de análisis

El análisis de los estudios seleccionados se llevó a cabo mediante los siguientes pasos:

Búsqueda y selección: Se realizó una búsqueda sistemática en las bases de datos utilizando términos clave como "células biofotovoltaicas", "optimización de conversión energética", "materiales biofotovoltaicos" y combinaciones de estos términos. Los artículos identificados fueron evaluados inicialmente mediante la lectura de títulos y resúmenes para determinar su relevancia.

Revisión y extracción de datos: Los artículos seleccionados fueron revisados en detalle para extraer información relevante sobre técnicas de optimización, materiales utilizados, y resultados de conversión energética. Se prestó especial atención a los métodos empleados, los resultados obtenidos y las conclusiones de cada estudio.

Síntesis y análisis: La información extraída fue organizada y sintetizada para identificar patrones comunes, avances significativos y áreas de mejora en la optimización de BFCs. Se elaboraron resúmenes temáticos y se compararon los hallazgos de diferentes estudios para evaluar la efectividad de las técnicas y materiales revisados.

Evaluación crítica: Se realizó una evaluación crítica de los estudios revisados, considerando la calidad metodológica, la validez de los resultados y la aplicabilidad de las técnicas y materiales en contextos diversos.

Este enfoque metodológico permitió obtener una visión integral y crítica de los avances en la optimización de la conversión energética en células biofotovoltaicas y proporcionó una base sólida para el análisis y la discusión de los resultados en el artículo.

Resultados

Técnicas de Optimización

Durante la revisión, se identificaron varias técnicas efectivas para la optimización de la conversión energética en células biofotovoltaicas. Las principales técnicas encontradas son:

Modificación de condiciones ambientales: La optimización de las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la intensidad de la luz, ha mostrado mejoras significativas en la eficiencia de conversión energética. Estos ajustes permiten que los materiales biológicos operen en condiciones más óptimas, mejorando su capacidad para captar y transformar la luz solar.

Optimización de la arquitectura de la célula: Los avances en el diseño de las células biofotovoltaicas, como el uso de estructuras tridimensionales o capas de materiales, han contribuido a aumentar el área de superficie expuesta a la luz y mejorar la captura de electrones. Estas técnicas

incluyen el uso de nanoestructuras y la integración de capas adicionales para maximizar la absorción de luz.

Incorporación de catalizadores biológicos: La introducción de catalizadores biológicos, como enzimas específicas, ha permitido mejorar las reacciones electroquímicas dentro de las BFCs. Estos catalizadores pueden aumentar la eficiencia de la conversión de energía al facilitar las reacciones necesarias para la generación de electricidad.

Desarrollo de métodos de estabilización: La aplicación de métodos para estabilizar los materiales biológicos, como recubrimientos protectores y técnicas de encapsulación, ha mostrado ser eficaz para prolongar la vida útil y mejorar el rendimiento de las células biofotovoltaicas.

Materiales utilizados

Los materiales que han demostrado mejorar la conversión energética en células biofotovoltaicas incluyen:

Bacterias fotosintéticas: Organismos como *Rhodospseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides* se han utilizado por su capacidad para realizar fotosíntesis y generar electrones eficientemente. Estos materiales biológicos ofrecen una alta actividad fotobioelectroquímica.

Algas y cianobacterias: Algoritmos como *Chlorella vulgaris* y *Anabaena variabilis* han mostrado ser efectivos en la conversión de luz en electricidad, gracias a su alta eficiencia en la fotosíntesis y su capacidad para generar biomasa con alta conductividad.

Materiales conductores biomiméticos: Los compuestos como los polímeros conductores que imitan la estructura de los materiales biológicos han mejorado la transferencia de electrones y la eficiencia de conversión energética en las BFCs.

Nanomateriales: El uso de nanomateriales, como nanopartículas de plata y dióxido de titanio, ha mostrado un aumento en la superficie de contacto y en la eficiencia de la conversión energética debido a sus propiedades ópticas y electrónicas mejoradas.

Comparación y tendencias

Comparación de técnicas: Las técnicas de optimización varían en su impacto sobre la eficiencia energética. Las modificaciones en las condiciones ambientales y la optimización de la arquitectura de la célula suelen ofrecer mejoras más inmediatas en la conversión energética, mientras que los

métodos de estabilización y la incorporación de catalizadores biológicos pueden proporcionar beneficios a largo plazo.

Comparación de materiales: Entre los materiales utilizados, las bacterias fotosintéticas y las algas muestran un rendimiento robusto en diversas condiciones, mientras que los materiales conductores biomiméticos y nanomateriales ofrecen ventajas específicas en términos de conductividad y eficiencia.

Tendencias emergentes: Las tendencias emergentes incluyen el desarrollo de nuevas combinaciones de materiales biológicos y la integración de tecnologías de nanomateriales para mejorar la eficiencia y la durabilidad de las BFCs. También se observa un creciente interés en la aplicación de técnicas de ingeniería genética para optimizar los microorganismos utilizados en las células.

Discusión

Los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica destacan avances importantes en la optimización de la conversión energética en células biofotovoltaicas. Las técnicas de optimización, como la modificación de condiciones ambientales y la innovación en el diseño de las células, han demostrado mejorar significativamente la eficiencia energética. La incorporación de catalizadores biológicos y la estabilización de materiales también han mostrado ser efectivos en la mejora de la conversión energética. Los materiales biológicos y los nanomateriales han demostrado su capacidad para mejorar la eficiencia de las BFCs, ofreciendo nuevas posibilidades para la generación de energía renovable.

Comparación con estudios previos

Comparando con investigaciones previas, los hallazgos confirman que la modificación ambiental y el diseño avanzado son estrategias clave para mejorar la eficiencia. Sin embargo, la revisión actual muestra un avance en la combinación de técnicas y en la implementación de nuevos materiales, como los conductores biomiméticos y los nanomateriales, que ofrecen mejoras significativas en la conversión energética. Las tendencias emergentes, como el uso de ingeniería genética y nanomateriales, reflejan las direcciones actuales en la investigación, aunque se requiere más exploración para validar completamente su aplicabilidad práctica.

Implicaciones y limitaciones

Implicaciones: Los hallazgos son relevantes para la práctica y la investigación, ya que ofrecen insights sobre técnicas y materiales que pueden mejorar la eficiencia de las BFCs. Estos avances tienen el potencial de facilitar la adopción de BFCs en aplicaciones reales, como sistemas de energía en áreas rurales o dispositivos electrónicos portátiles. Para la investigación, los resultados proporcionan una base sólida para el desarrollo de nuevas estrategias y materiales, guiando los esfuerzos futuros en la optimización de células biofotovoltaicas.

Limitaciones: Las limitaciones incluyen la variabilidad en las metodologías y la falta de estandarización en la evaluación de la eficiencia. Además, muchos estudios se han llevado a cabo en condiciones de laboratorio, lo que puede no reflejar completamente las condiciones reales de operación. La escalabilidad y la durabilidad a largo plazo de las BFCs también siguen siendo áreas con información limitada.

Relevancia y aplicaciones

La relevancia de los hallazgos radica en su potencial para transformar la generación de energía renovable. La mejora en la eficiencia de conversión energética de las BFCs puede llevar a nuevas aplicaciones prácticas, como:

Sistemas de energía en zonas rurales: Las BFCs optimizadas podrían proporcionar una fuente de energía renovable en regiones con acceso limitado a electricidad, mejorando la calidad de vida y apoyando el desarrollo sostenible.

Dispositivos electrónicos portátiles: Las mejoras en la eficiencia de las BFCs pueden hacerlas adecuadas para aplicaciones en dispositivos electrónicos que requieren fuentes de energía compactas y autónomas.

Aplicaciones ambientales: Las BFCs podrían integrarse en sistemas de monitoreo ambiental y otras aplicaciones donde la energía renovable es crucial.

Futuras investigaciones

Para avanzar en el campo de las células biofotovoltaicas, se deben considerar las siguientes áreas de investigación y desarrollo:

Investigar métodos para escalar la producción de BFCs y evaluar su viabilidad comercial es esencial para su adopción a gran escala. Esto incluye el desarrollo de técnicas para la producción en masa y la evaluación de costos.

Se necesita más investigación sobre la durabilidad a largo plazo de los materiales biológicos y las células en condiciones de operación real para asegurar su fiabilidad y sostenibilidad.

Explorar cómo las BFCs pueden integrarse con otras tecnologías renovables, como paneles solares y sistemas de almacenamiento de energía, para mejorar la eficiencia general y la estabilidad del suministro energético.

Continuar el desarrollo de nuevos materiales biológicos y nanomateriales, así como la mejora de las técnicas de estabilización, puede llevar a avances significativos en la eficiencia y aplicabilidad de las BFCs.

Conclusiones

Las técnicas de modificación de condiciones ambientales y el diseño avanzado de células han demostrado ser eficaces para mejorar la eficiencia de conversión energética. La inclusión de catalizadores biológicos y métodos de estabilización también ha contribuido a una mayor efectividad en la generación de electricidad.

Los materiales biológicos como bacterias fotosintéticas, algas y cianobacterias han mostrado un rendimiento notable en la conversión energética. La incorporación de materiales conductores biomiméticos y nanomateriales ha ofrecido mejoras adicionales en la eficiencia de las células biofotovoltaicas.

Las técnicas y materiales actuales muestran avances significativos respecto a estudios previos, con un enfoque creciente en la integración de nuevas tecnologías como la ingeniería genética y los nanomateriales. Las tendencias emergentes sugieren un potencial prometedor para la mejora continua de la eficiencia y la aplicabilidad de las BFCs.

La optimización de la conversión energética en células biofotovoltaicas presenta un campo prometedor con importantes aplicaciones prácticas y un potencial significativo para la investigación futura. Los avances en técnicas y materiales ofrecen una base sólida para continuar desarrollando y aplicando estas tecnologías en diversos contextos.

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. 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.
3. Minaya Vergara, J. M., & Pérez Canales, C. E. (2024). Cultivo Hidropónico recirculante de Plantas Magnoliopsida para la generación de Energía Biofotovoltaica.
4. 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.
5. Neumeier, M. Techos verdes aumentan la eficiencia de los paneles solares.
6. 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.
7. Sandoval-Ruiz, C. E. J. I. R. d. I. U. d. C. R. (2020). Arreglos fotovoltaicos inteligentes con modelo LFSR-reconfigurable. 30(2), 32-61.