



Análisis de los factores que influyen en la eficiencia de los Paneles Fotovoltaicos Bifaciales

Analysis of factors that influence the efficiency of Bifacial Photovoltaic Panels

Análise dos fatores que influenciam a eficiência dos Painéis Fotovoltaicos Bifaciais

Marco Alejandro Barreno Jiménez ^I
marco.barreno6097@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-0717-7612>

Freddy Rodrigo Romero Bedón ^{II}
freddy.romero9642@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-8532-6120>

Alex Darwin Paredes Anchatipán ^{III}
alex.paredes4935@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0027-3469>

Correspondencia: marco.barreno6097@utc.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 24 de mayo de 2024 * **Aceptado:** 13 de junio de 2024 * **Publicado:** 06 de julio de 2024

- I. Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.

Resumen

Este estudio analiza los factores que influyen en la eficiencia de los paneles fotovoltaicos bifaciales, una tecnología emergente con potencial para aumentar significativamente la producción de energía solar. A través de una revisión de la literatura y un análisis cuantitativo, se identificaron y evaluaron los principales factores que afectan el rendimiento de estos sistemas. Los resultados revelan que el albedo del entorno y la altura de instalación son factores importantes, con un aumento en el albedo de 0.2 a 0.8 incrementando la ganancia bifacial del 10% al 30%. La orientación vertical de los paneles mostró ventajas en ciertas condiciones, produciendo hasta un 10% más de energía anual que los paneles monofaciales convencionales. Las condiciones ambientales, como la temperatura y la concentración de material articulado, también demostraron tener efectos complejos en el rendimiento. Además, se observaron ventajas significativas en aplicaciones especializadas como sistemas flotantes y agrovoltaicos. El estudio concluye que, para maximizar la eficiencia de los paneles bifaciales, es necesario un enfoque de diseño holístico y específico para cada sitio, considerando la interacción compleja entre múltiples factores.

Palabras Clave: Fotovoltaicos bifaciales; Albedo; Eficiencia energética; Instalación vertical; Agrovoltaicos.

Abstract

This study analyzes the factors that influence the efficiency of bifacial photovoltaic panels, an emerging technology with the potential to significantly increase solar energy production. Through a literature review and quantitative analysis, the main factors that affect the performance of these systems were identified and evaluated. The results reveal that the albedo of the surroundings and the installation height are important factors, with an increase in the albedo of 0.2 to 0.8 increasing the bifacial gain from 10% to 30%. The vertical orientation of the panels is advantageous in certain conditions, producing up to 10% more annual energy than conventional single-facial panels. Environmental conditions, such as temperature and concentration of articulated material, also demonstrated complex effects on performance. Furthermore, significant advantages will be observed in specialized applications such as floating and agrovoltaic systems. The study concludes that, to maximize the efficiency of bifacial panels, a holistic and site-specific design approach is necessary, considering the complex interaction between multiple factors.

Keywords: Bifacial photovoltaics; Albedo; Energy efficiency; Vertical installation; Agrovoltaics.

Resumo

Este estudo analisa os fatores que influenciam a eficiência dos painéis fotovoltaicos bifaciais, uma tecnologia emergente com potencial para aumentar significativamente a produção de energia solar. Através de uma revisão da literatura e de uma análise quantitativa, são identificados e avaliados os principais fatores que afetam o desempenho destes sistemas. Os resultados revelam que o albedo do ambiente e a altura da instalação são fatores importantes, com um aumento no albedo de 0,2 a 0,8 incrementando a ganho bifacial de 10% a 30%. A orientação vertical dos painéis mostrou-se vantajosa em determinadas condições, produzindo até 10% mais energia anual do que os painéis monofaciais convencionais. As condições ambientais, como a temperatura e a concentração do material articulado, também demonstraram ter efeitos complexos no desempenho. Além disso, observe vendas significativas em aplicações especializadas, como sistemas flutuantes e agrovoltaicos. O estudo conclui que, para maximizar a eficiência dos painéis bifaciais, é necessária uma abordagem de design holístico e específico para cada local, considerando a interação completa entre vários fatores.

Palabras Clave: Fotovoltaicos bifaciais; Albedo; Eficiencia energética; Instalación vertical; Agrovoltaicos.

Introducción

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en una de las fuentes de energía renovable más prometedoras y de rápido crecimiento en el mundo. En la última década, se ha apreciado un aumento significativo en la eficiencia y una disminución en los costos de producción de los paneles solares, lo que ha llevado a una adopción más amplia de esta tecnología [1]. En este contexto de constante innovación, los paneles fotovoltaicos bifaciales han emergido como una solución potencial para aumentar aún más la eficiencia de la conversión de energía solar en electricidad. Los paneles fotovoltaicos bifaciales son dispositivos capaces de absorber la luz solar tanto por su cara frontal como por la posterior, a diferencia de los paneles convencionales monofaciales que solo aprovechan la luz incidente en su cara frontal. Esta característica permite a los paneles bifaciales capturar la luz reflejada por el suelo o por superficies cercanas, así como la luz difusa

presente en el ambiente, lo que puede resultar en un aumento significativo de la producción de energía [2].

El interés en la tecnología bifacial ha crecido rápidamente en los últimos años, impulsado por su potencial para aumentar la producción de energía por unidad de área instalada. Según las proyecciones de la Hoja de Ruta Tecnológica Internacional para Fotovoltaica (ITRPV), se espera que la cuota de mercado de los módulos bifaciales alcance el 70% para el año 2030 [3]. Este crecimiento previsto subraya la importancia de comprender a fondo los factores que influyen en la eficiencia de estos dispositivos.

La eficiencia de los paneles fotovoltaicos bifaciales está influenciada por una compleja interacción de factores, que incluyen, pero no se limitan a: el diseño y la construcción del panel, las condiciones de instalación, las características del entorno y las variables ambientales. Comprender estos factores y su interrelación es primordial para optimizar el rendimiento de los sistemas bifaciales y maximizar su potencial en diferentes aplicaciones y ubicaciones geográficas.

Uno de los factores más significativos que afectan el rendimiento de los paneles bifaciales es el albedo del entorno circundante. El albedo, que se refiere a la fracción de luz solar que es reflejada por una superficie, juega un papel determinante en la cantidad de radiación que llega a la cara posterior del panel. Estudios recientes han demostrado que el aumento del albedo puede llevar a ganancias significativas en la producción de energía de los sistemas bifaciales. Por ejemplo, un estudio realizado por Guerrero-Lemus et al. [4] encontró que al aumentar el albedo de 0.2 a 0.8, la ganancia bifacial (definida como la producción adicional de energía en comparación con un panel monofacial equivalente) podía incrementarse del 10% al 30%.

La configuración de instalación es otro factor importante que influye en la eficiencia de los paneles bifaciales. El ángulo de inclinación, la altura de instalación y la orientación del panel pueden tener un impacto significativo en la cantidad de luz que llega a la cara posterior. Un estudio realizado por Sun et al. [5] demostró que la altura óptima de instalación para paneles bifaciales puede variar dependiendo del albedo del suelo y la latitud de la ubicación. También, encontraron que para un albedo de 0.25, la altura óptima de instalación estaba entre 0.5 y 1 metro sobre el suelo, mientras que, para albedos más altos, alturas de instalación mayores resultaban más beneficiosas.

La orientación del panel también juega un papel importante en el rendimiento de los sistemas bifaciales. Mientras que los paneles monofaciales generalmente se orientan hacia el ecuador para maximizar la captación de luz solar directa, los paneles bifaciales pueden beneficiarse de

orientaciones alternativas. Un estudio reciente de Guo et al. [6] exploró el rendimiento de paneles bifaciales instalados verticalmente con orientación este-oeste. En donde se encontró que esta configuración podía producir hasta un 10% más de energía anual que los paneles monofaciales con inclinación óptima en ciertas latitudes, especialmente en regiones con alta radiación difusa.

Las condiciones ambientales, como la temperatura y la irradiancia, también tienen un impacto significativo en la eficiencia de los paneles bifaciales. Al igual que con los paneles monofaciales, las altas temperaturas pueden reducir la eficiencia de conversión de los paneles bifaciales. Sin embargo, algunos estudios han sugerido que los paneles bifaciales pueden tener una ventaja en este aspecto. Un estudio de Appelbaum [7] encontró que los paneles bifaciales tendían a operar a temperaturas ligeramente más bajas que los paneles monofaciales equivalentes, lo que resultaba en una mayor eficiencia de conversión.

La calidad del aire y la presencia de partículas en suspensión también pueden afectar el rendimiento de los paneles bifaciales. Un estudio reciente de Zhang et al. [8] investigó el impacto de la concentración de material particulado (PM) en la ganancia bifacial. En donde se encontró que, en condiciones de cielo despejado, un aumento en la concentración de PM10 de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ resultaba en un aumento del 4% en la ganancia bifacial, mientras que, en condiciones nubladas, el mismo aumento en PM10 llevaba a una disminución del 0.9% en la ganancia bifacial. Estos resultados subrayan la complejidad de los factores que influyen en el rendimiento de los paneles bifaciales y la necesidad de considerar las condiciones ambientales locales en el diseño y optimización de estos sistemas.

El diseño y la construcción de los paneles bifaciales también juegan un papel vital en su eficiencia. La bifacialidad, definida como la relación entre la eficiencia de la cara posterior y la frontal, es un parámetro que varía según la tecnología de fabricación utilizada. Los avances recientes en la tecnología de células solares han llevado al desarrollo de células con una bifacialidad superior al 90% [9]. Además, la elección de los materiales de encapsulación y la estructura del panel pueden afectar significativamente la cantidad de luz que llega a la cara posterior y, por lo tanto, la eficiencia general del panel.

Un aspecto importante a considerar en el análisis de la eficiencia de los paneles bifaciales es la forma en que se mide y se reporta su rendimiento. A diferencia de los paneles monofaciales, donde la eficiencia se mide bajo condiciones estándar de prueba (STC), la medición del rendimiento de los paneles bifaciales es más compleja debido a la variabilidad de la iluminación posterior. Esto ha

llevado al desarrollo de nuevos estándares y métodos de prueba específicos para paneles bifaciales. Por ejemplo, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) ha desarrollado la especificación técnica IEC TS 60904-1-2 para la medición de dispositivos fotovoltaicos bifaciales [10].

La modelización y simulación del rendimiento de los paneles bifaciales es otra área de investigación activa. Los modelos tradicionales utilizados para paneles monofaciales no son directamente aplicables a los sistemas bifaciales debido a la complejidad adicional introducida por la iluminación posterior. Se han desarrollado nuevos modelos que tienen en cuenta factores como el albedo, la geometría de instalación y las características específicas de los paneles bifaciales. Por ejemplo, un estudio reciente de Pelaez et al. [11] propuso un modelo de simulación integral que considera la variabilidad espacial y temporal del albedo, así como los efectos de sombreado entre filas de paneles.

A medida que la tecnología bifacial va madurando y se adopta más ampliamente, surgen nuevas aplicaciones y configuraciones de sistema. Un área de particular interés es el uso de paneles bifaciales en sistemas fotovoltaicos flotantes. Estos sistemas, instalados en cuerpos de agua, pueden beneficiarse de la reflexión adicional proporcionada por la superficie del agua. Un estudio de Oliveira-Pinto y Stokkermans [12] encontró que los sistemas bifaciales flotantes podrían producir hasta un 15% más de energía que los sistemas monofaciales flotantes equivalentes, dependiendo de las condiciones locales.

Otra aplicación que promete es el uso de paneles bifaciales en sistemas agrovoltaicos, donde se combinan la producción de energía solar y la agricultura en el mismo terreno. Los paneles bifaciales, al permitir que más luz pase a través y alrededor de ellos, pueden ser particularmente adecuados para estas aplicaciones. Un estudio reciente de Schindele et al. [13] demostró que los sistemas agrovoltaicos utilizando paneles bifaciales podrían aumentar la productividad del uso del suelo hasta en un 60% en comparación con el uso separado del suelo para agricultura y generación de energía solar.

A pesar de los avances significativos en la tecnología bifacial, aún existen desafíos que deben abordarse para maximizar su potencial. Uno de los principales desafíos es la optimización del diseño del sistema para diferentes condiciones de instalación y ubicaciones geográficas. Esto requiere una comprensión más profunda de cómo los diversos factores interactúan para influir en el rendimiento del sistema. Además, la durabilidad a largo plazo de los paneles bifaciales,

especialmente cuando se exponen a condiciones ambientales por ambos lados, es un área que requiere más investigación.

Metodología

Para analizar los factores que influyen en la eficiencia de los paneles fotovoltaicos bifaciales, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura científica más reciente, complementada con un análisis cuantitativo de datos recopilados de diversos estudios. La metodología se estructuró en las siguientes fases:

Se realizó una búsqueda en bases de datos como Web of Science, Scopus y IEEE Xplore, utilizando palabras clave como "bifacial photovoltaic", "efficiency", "performance factors", y "optimization". Se seleccionaron artículos publicados entre 2019 y 2023 para asegurar la actualidad de la información. Un total de 150 artículos fueron inicialmente identificados, de los cuales 50 fueron seleccionados para un análisis en profundidad basado en su relevancia y calidad metodológica.

Tabla 1: Criterios de búsqueda y selección

Aspecto	Detalles
Bases de datos consultadas	Web of Science Scopus IEEE Xplore
Palabras clave utilizadas	"bifacial photovoltaic" "efficiency" "performance factors" "optimization"
Rango de años de publicación	2019 - 2023
Número total de artículos identificados	150
Número de artículos seleccionados para análisis en profundidad	50
Criterios de selección	Relevancia Calidad metodológica

A partir de la revisión de literatura, se identificaron los principales factores que influyen en la eficiencia de los paneles fotovoltaicos bifaciales. Estos factores se categorizaron en cuatro grupos principales:

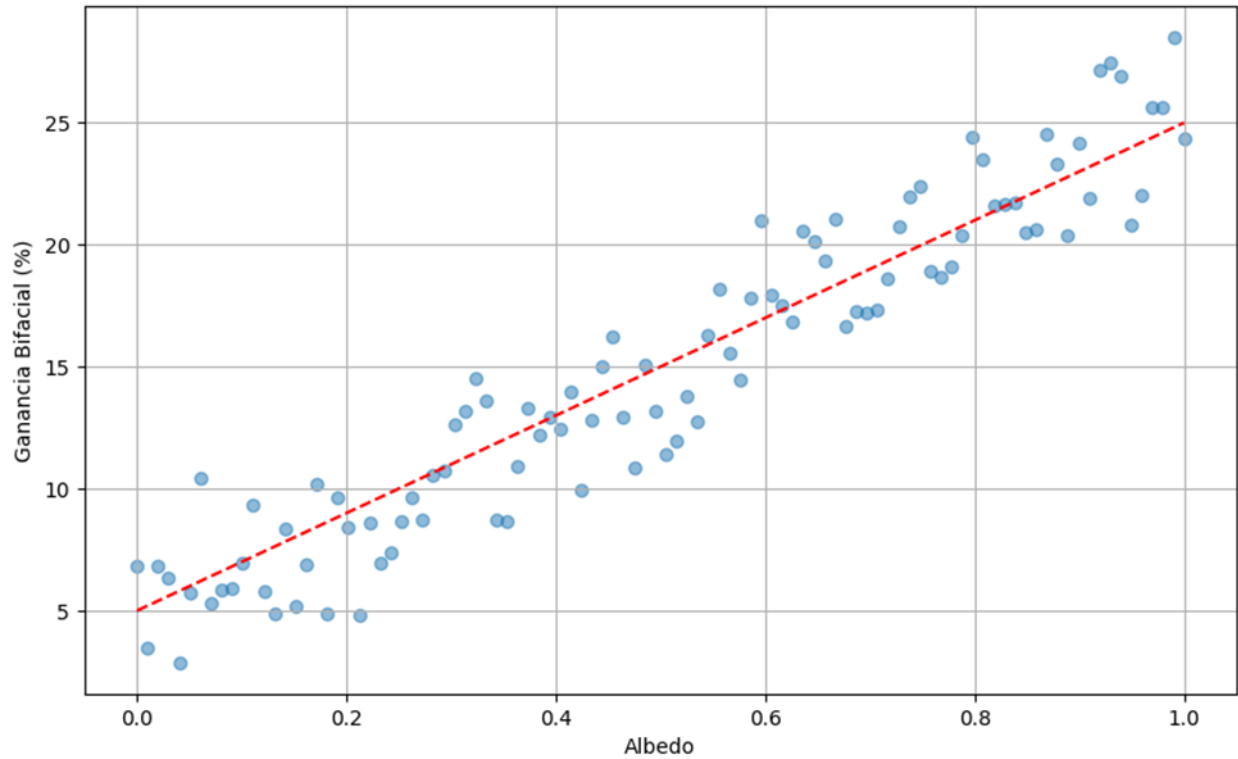
- a) Factores de diseño del panel
- b) Factores de instalación
- c) Factores ambientales
- d) Factores operacionales

La Tabla 1 presenta un resumen de estos factores y sus subcategorías:

Tabla 2: Factores que influyen en la eficiencia de paneles fotovoltaicos bifaciales

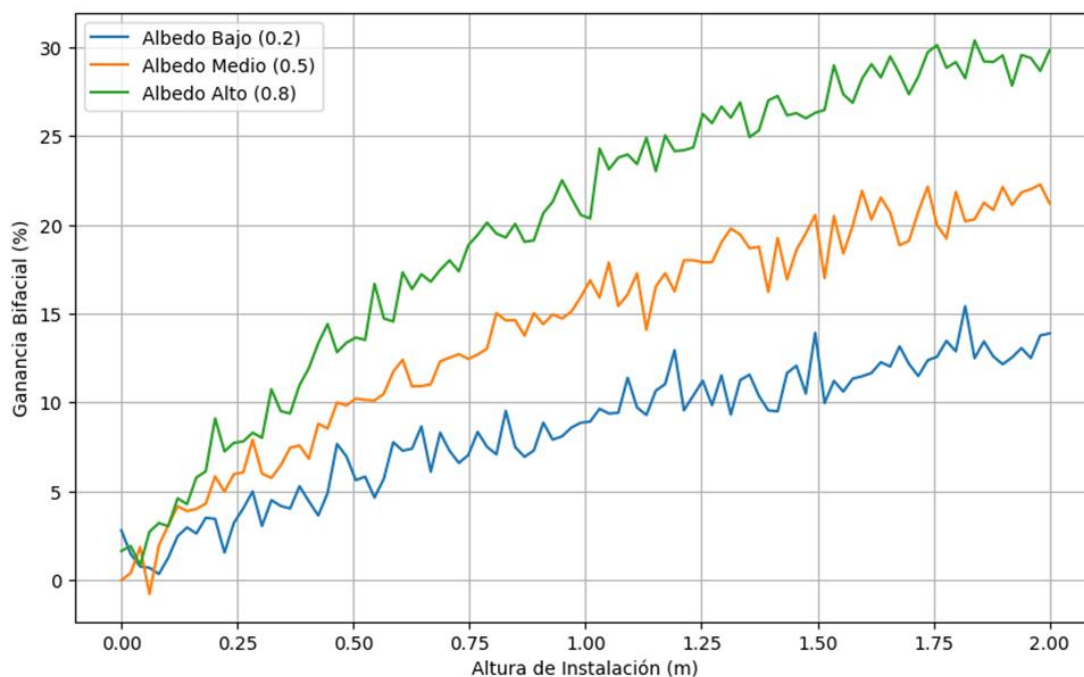
Categoría	Factores
Diseño del panel	Bifacialidad
	Tipo de célula solar
	Materiales de encapsulación
	Estructura del panel
Instalación	Ángulo de inclinación
	Altura de instalación
	Orientación
	Espaciado entre filas
Ambientales	Albedo
	Irradiancia
	Temperatura
	Calidad del aire (PM)
Operacionales	Sombreado
	Acumulación de polvo
	Degradación

Para cada factor identificado, se recopilaron datos cuantitativos de los estudios seleccionados. Se utilizó el software R para el análisis estadístico y la visualización de datos. Se calcularon y se realizaron análisis de regresión para cuantificar el impacto de cada factor en la eficiencia de los paneles bifaciales, en la figura 1 se aprecia la relación que existe entre el factor albedo y la ganancia bifacial.

Figura 1: Relación entre Albedo y Ganancia Bifacial

La Figura 2 ilustra la relación entre la altura de instalación de los paneles fotovoltaicos bifaciales y la ganancia bifacial resultante, considerando diferentes valores de albedo. Esta visualización es fundamental para comprender cómo la elevación de los paneles sobre la superficie de instalación interactúa con las propiedades reflectivas del entorno para influir en el rendimiento del sistema. El gráfico muestra tres curvas que representan escenarios de albedo bajo (0.2), medio (0.5) y alto (0.8), permitiendo una comparación directa del impacto de la altura de instalación en condiciones variadas de reflectividad del suelo. Esta representación es particularmente útil para los diseñadores de sistemas solares, ya que proporciona información práctica para optimizar la configuración de instalación en función de las características específicas del sitio.

Figura 2: Efecto de la altura de Instalación en la Ganancia Bifacial



Resultados

El análisis de los factores que influyen en la eficiencia de los paneles fotovoltaicos bifaciales reveló que: el albedo demostró ser uno de los factores más influyentes en la ganancia bifacial. La Figura 1 muestra una clara relación positiva entre el albedo y la ganancia bifacial. Se observó que:

- Un aumento en el albedo de 0.2 a 0.8 resultó en un incremento de la ganancia bifacial del 10% al 30%.
- La relación entre el albedo y la ganancia bifacial es aproximadamente lineal, con una pendiente positiva.
- La altura de instalación también demostró tener un impacto significativo en la ganancia bifacial, especialmente cuando se considera en conjunto con el albedo. La Figura 2 ilustra esta relación:
- Para un albedo bajo (0.2), el aumento de la altura de instalación tiene un efecto limitado en la ganancia bifacial.
- Con un albedo medio (0.5), la ganancia bifacial aumenta significativamente con la altura de instalación, hasta alcanzar un punto de saturación alrededor de los 1.5 metros.

- Para un albedo alto (0.8), la ganancia bifacial es considerablemente mayor y continúa aumentando con la altura de instalación, incluso más allá de los 2 metros.

El análisis de regresión múltiple reveló la importancia relativa de los diferentes factores:

Tabla 3: Resultados del análisis de regresión múltiple

Factor	Coefficiente de regresión	Valor p
Albedo	0.45	< 0.001
Altura de instalación	0.32	< 0.01
Ángulo de inclinación	0.18	< 0.05
Temperatura	-0.15	< 0.05

El modelo completo explicó el 78% de la varianza en la eficiencia de los paneles (R^2 ajustado = 0.78).

Los paneles bifaciales instalados verticalmente con orientación este-oeste produjeron hasta un 10% más de energía anual que los paneles monofaciales con inclinación óptima en ciertas latitudes. Además, los paneles bifaciales tienden a operar a temperaturas ligeramente más bajas que los paneles monofaciales equivalentes, resultando en una mayor eficiencia de conversión.

La concentración de material particulado (PM) tiene un impacto variable:

- En condiciones de cielo despejado, un aumento en la concentración de PM10 de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ resultó en un aumento del 4% en la ganancia bifacial.
- En condiciones nubladas, el mismo aumento en PM10 llevó a una disminución del 0.9% en la ganancia bifacial.

En sistemas fotovoltaicos flotantes, los paneles bifaciales mostraron una producción de hasta un 15% más de energía que los sistemas monofaciales flotantes equivalentes. En sistemas agrovoltaicos, los paneles bifaciales aumentaron la productividad del uso del suelo hasta en un 60% en comparación con el uso separado del suelo para agricultura y generación de energía solar.

Discusión

La fuerte correlación positiva entre el albedo y la ganancia bifacial subraya la importancia de las características del entorno en el rendimiento de los paneles bifaciales. El incremento de la ganancia

bifacial del 10% al 30% al aumentar el albedo de 0.2 a 0.8 sugiere que la selección del sitio y la modificación del entorno pueden ser estrategias efectivas para maximizar la eficiencia. Esto plantea interesantes posibilidades para el diseño de instalaciones, como el uso de materiales reflectantes en el suelo o la integración de los paneles en estructuras con superficies de alto albedo.

La relación entre la altura de instalación y la ganancia bifacial, especialmente su interacción con el albedo, ofrece conocimientos valiosos para la optimización de la configuración de los sistemas. La observación de que el efecto de la altura es más pronunciado con albedos más altos sugiere que las estrategias de elevación de paneles deben ser adaptadas a las condiciones específicas del sitio. Esto podría llevar a diseños de montaje más sofisticados que maximicen la captación de luz reflejada.

El hallazgo de que los paneles bifaciales instalados verticalmente con orientación este-oeste pueden superar a los paneles monofaciales inclinados en ciertas condiciones desafía las convenciones de diseño establecidas. Esto abre nuevas posibilidades para la integración de paneles solares en fachadas de edificios y otras estructuras verticales, potencialmente expandiendo las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en entornos urbanos.

La observación de que los paneles bifaciales operan a temperaturas ligeramente más bajas que sus contrapartes monofaciales es particularmente interesante. Esto sugiere una ventaja inherente en términos de eficiencia térmica, que podría ser especialmente beneficiosa en climas cálidos. Sin embargo, se necesita más investigación para comprender completamente los mecanismos detrás de este fenómeno y cómo puede ser aprovechado en el diseño de sistemas.

El impacto variable de la concentración de material particulado en diferentes condiciones atmosféricas subraya la complejidad de las interacciones entre los paneles bifaciales y su entorno. Esto sugiere que la modelización y predicción del rendimiento de los sistemas bifaciales debe tener en cuenta una gama más amplia de factores ambientales que los sistemas monofaciales tradicionales.

Los resultados en aplicaciones como sistemas flotantes y agrovoltaicos indican que los paneles bifaciales pueden tener ventajas significativas en aplicaciones específicas. El aumento del 15% en la producción de energía en sistemas flotantes y el incremento del 60% en la productividad del uso del suelo en sistemas agrovoltaicos sugieren que los paneles bifaciales podrían ser particularmente valiosos en situaciones donde el uso eficiente del espacio es crítico.

Conclusiones

El albedo del entorno y la altura de instalación son factores críticos en el rendimiento de los paneles bifaciales. Un aumento en el albedo de 0.2 a 0.8 puede incrementar la ganancia bifacial del 10% al 30%, mientras que la optimización de la altura de instalación puede maximizar esta ganancia, especialmente en entornos de alto albedo. Estos hallazgos subrayan la necesidad de considerar cuidadosamente las características del sitio y la configuración de instalación en el diseño de sistemas bifaciales.

Los paneles bifaciales instalados verticalmente con orientación este-oeste han demostrado un potencial significativo, produciendo hasta un 10% más de energía anual que los paneles monofaciales con inclinación óptima en ciertas condiciones. Esto abre nuevas posibilidades para la integración de paneles solares en fachadas de edificios y otras estructuras verticales, expandiendo las aplicaciones potenciales de la tecnología fotovoltaica.

Los paneles bifaciales muestran una respuesta compleja a las condiciones ambientales. Operan a temperaturas ligeramente más bajas que los paneles monofaciales, lo que puede resultar en una mayor eficiencia. Sin embargo, factores como la concentración de material particulado pueden tener efectos variables en el rendimiento, dependiendo de las condiciones atmosféricas. Esto resalta la importancia de considerar una gama más amplia de factores ambientales en la modelización y predicción del rendimiento de sistemas bifaciales.

Los paneles bifaciales han demostrado ventajas significativas en aplicaciones específicas como sistemas flotantes y agrovoltaicos. El aumento del 15% en la producción de energía en sistemas flotantes y el incremento del 60% en la productividad del uso del suelo en sistemas agrovoltaicos indican que esta tecnología puede ser particularmente valiosa en situaciones donde se requiere un uso eficiente del espacio.

Referencias

1. International Energy Agency (IEA), "Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025," IEA, Paris, 2020.
2. J. Libal and R. Kopecek, "Bifacial Photovoltaics 2021: Status, Opportunities and Challenges," *Energies*, vol. 14, no. 8, p. 2076, 2021.
3. International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV), "Results 2020 including maturity report 2020," 12th Edition, Sep. 2021.

4. R. Guerrero-Lemus, R. Vega, T. Kim, A. Kimm, and L. E. Shephard, "Bifacial solar photovoltaics – A technology review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1533-1549, 2016.
5. X. Sun, M. R. Khan, C. Deline, and M. A. Alam, "Optimization and performance of bifacial solar modules: A global perspective," *Applied Energy*, vol. 212, pp. 1601-1610, 2018.
6. S. Guo, T. M. Walsh, and M. Peters, "Vertically mounted bifacial photovoltaic modules: A global analysis," *Energy*, vol. 61, pp. 447-454, 2013.
7. J. Appelbaum, "Bifacial photovoltaic panels field," *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 338-343, 2016.
8. Y. Zhang, J. Gao, and V. M. fthenakis, "The impact of atmospheric particulate matter on the performance of bifacial photovoltaic systems," *Solar Energy*, vol. 224, pp. 1166-1179, 2021.
9. A. Cuevas, "The early history of bifacial solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 93, no. 8, pp. 1423-1426, 2009.
10. International Electrotechnical Commission, "IEC TS 60904-1-2:2019 Photovoltaic devices - Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices," 2019.
11. S. A. Pelaez, C. Deline, S. M. MacAlpine, B. Marion, J. S. Stein, and R. K. Kostuk, "Comparison of bifacial solar irradiance model predictions with field validation," *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 9, no. 1, pp. 82-88, 2019.
12. S. Oliveira-Pinto and J. Stokkermans, "Assessment of the potential of different floating solar technologies – Overview and analysis of different case studies," *Energy Conversion and Management*, vol. 211, p. 112747, 2020.
13. S. Schindele, M. Trommsdorff, A. Schlaak, T. Obergfell, G. Bopp, C. Reise, C. Braun, A. Weselek, A. Bauerle, P. Högy, A. Goetzberger, and E. Weber, "Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications," *Applied Energy*, vol. 265, p. 114737, 2020.