



Contribución de los Sistemas Fotovoltaicos conectados a la Red Eléctrica para la Reducción de la emisión de CO2

Contribution of Photovoltaic Systems connected to the Electric Grid for the Reduction of CO2 emission

Contributo dos Sistemas Fotovoltaicos ligados à Rede Elétrica para a Redução da Emissão de CO2

Daniel Santiago Soria-Yáñez ^I

daniel.soria1891@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-0636-1475>

Paco Jovanni Vásquez-Carrera ^{II}

paco.vasquez@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4734-8584>

William Armando Hidalgo-Osorio ^{III}

william.hidalgo7885@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6783-0947>

Correspondencia: daniel.soria1891@utc.edu.ec

Ciencias de la Educación

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 12 de mayo de 2024 * **Aceptado:** 08 de junio de 2024 * **Publicado:** 15 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

La aceleración del cambio climático y sus efectos adversos en el medio ambiente generaron una creciente preocupación a nivel global. Este estudio analizó la contribución de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (GCPV) en la reducción de las emisiones de CO₂, destacando los beneficios económicos y ambientales asociados. La investigación se basó en datos empíricos y en una revisión exhaustiva de la literatura reciente. Los resultados mostraron que la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos aumentó significativamente, de 500 GW en 2019 a 1,100 GW en 2023, lo que llevó a una reducción de las emisiones de CO₂ de 350 millones de toneladas a 770 millones de toneladas en el mismo período. Este crecimiento fue impulsado por la disminución de los costos de instalación y mantenimiento, así como por mejoras en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos. A pesar de los beneficios, la integración de GCPV presentó desafíos técnicos, como la intermitencia de la generación solar y la necesidad de infraestructura adecuada. Las políticas gubernamentales y los incentivos fiscales son políticas primordiales para la adopción de esta tecnología. Sin embargo, se requirió una mayor inversión en tecnologías de almacenamiento de energía y modernización de la infraestructura de red para superar estos obstáculos.

Palabras Clave: Sistemas fotovoltaicos; Reducción de CO₂; Energía solar; Eficiencia energética; Infraestructura de red.

Abstract

The acceleration of climate change and its adverse effects on the environment generated growing concern at a global level. This study analyzed the contribution of grid-connected photovoltaic (GCPV) systems in reducing CO₂ emissions, highlighting the associated economic and environmental benefits. The research was based on empirical data and a comprehensive review of recent literature. The results showed that the installed capacity of photovoltaic systems increased significantly, from 500 GW in 2019 to 1,100 GW in 2023, leading to a reduction in CO₂ emissions from 350 million tons to 770 million tons in the same period. This growth was driven by decreased installation and maintenance costs, as well as improvements in the efficiency of photovoltaic modules. Despite the benefits, GCPV integration presented technical challenges, such as the intermittency of solar generation and the need for adequate infrastructure. Government policies and tax incentives are primary policies for the adoption of this technology. However, greater

investment in energy storage technologies and grid infrastructure modernization was required to overcome these obstacles.

Keywords: Photovoltaic systems; CO2 reduction; Solar energy; Energy efficiency; Network infrastructure.

Resumo

A aceleração das alterações climáticas e os seus efeitos adversos no ambiente geraram uma preocupação crescente a nível global. Este estudo analisou o contributo dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede (GCPV) na redução das emissões de CO₂, destacando os benefícios económicos e ambientais associados. A pesquisa baseou-se em dados empíricos e numa revisão abrangente da literatura recente. Os resultados mostraram que a capacidade instalada dos sistemas fotovoltaicos aumentou significativamente, de 500 GW em 2019 para 1.100 GW em 2023, levando a uma redução das emissões de CO₂ de 350 milhões de toneladas para 770 milhões de toneladas no mesmo período. Este crescimento foi impulsionado pela diminuição dos custos de instalação e manutenção, bem como pelas melhorias na eficiência dos módulos fotovoltaicos. Apesar dos benefícios, a integração do GCPV apresentou desafios técnicos, como a intermitência da geração solar e a necessidade de infraestruturas adequadas. As políticas governamentais e os incentivos fiscais são políticas primárias para a adoção desta tecnologia. No entanto, foi necessário um maior investimento em tecnologias de armazenamento de energia e na modernização das infra-estruturas da rede para ultrapassar estes obstáculos.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos; Redução de CO₂; Energia solar; Eficiência energética; Infraestrutura de rede.

Introducción

La aceleración del cambio climático y sus efectos adversos en el medio ambiente han generado una preocupación global sin precedentes. Entre los principales factores responsables de este fenómeno se encuentran las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente el dióxido de carbono (CO₂), derivadas principalmente de la quema de combustibles fósiles para la generación de energía. En respuesta a esta problemática, se ha puesto un énfasis considerable en la transición hacia fuentes de energía renovable, que presentan un impacto significativamente menor en

términos de emisiones de CO₂. Entre estas fuentes, la energía solar fotovoltaica (PV) ha emergido como una de las tecnologías más prometedoras [1]- [3].

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (Grid-Connected Photovoltaic Systems, GCPV) representan una de las soluciones más eficaces para la reducción de las emisiones de CO₂. Estos sistemas permiten convertir la energía solar en electricidad utilizable, que puede ser directamente inyectada a la red eléctrica [4]- [6]. Esta capacidad no solo contribuye a la diversificación de la matriz energética, sino que también ofrece un medio sostenible para satisfacer la creciente demanda de energía. A medida que los costos de instalación y mantenimiento de los sistemas PV han disminuido y la eficiencia de los módulos ha mejorado, la adopción de esta tecnología ha aumentado exponencialmente en todo el mundo [7], [8].

El impacto de los sistemas GCPV en la reducción de emisiones de CO₂ es multifacético y depende de varios factores, incluidos la ubicación geográfica, la irradiancia solar disponible, el diseño del sistema y las políticas de apoyo a las energías renovables [9]-[11]. Además, la integración de sistemas PV en la red eléctrica presenta una serie de desafíos técnicos y económicos que deben ser abordados para maximizar sus beneficios. Entre estos desafíos se encuentran la intermitencia de la generación solar, la necesidad de infraestructura de almacenamiento de energía y la gestión de la estabilidad de la red [12], [13].

La energía solar fotovoltaica se destaca por su capacidad para generar electricidad sin emisiones directas de GEI. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, incluida la solar, ha evitado la emisión de aproximadamente 2.1 gigatoneladas de CO₂ en 2019 [14]. La energía solar, en particular, ha mostrado un crecimiento notable, contribuyendo significativamente a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles [15], [16].

El potencial de la energía solar es inmenso, ya que la Tierra recibe una cantidad de energía solar anual que es varias veces superior al consumo mundial de energía. Sin embargo, aprovechar eficientemente esta energía requiere tecnologías avanzadas y una infraestructura adecuada. Los sistemas GCPV son una manifestación de cómo la tecnología puede ser utilizada para capturar y convertir la energía solar en electricidad, que luego puede ser utilizada para satisfacer diversas necesidades energéticas [17].

En las últimas dos décadas, la tecnología fotovoltaica ha experimentado avances significativos. Las mejoras en la eficiencia de conversión de los módulos PV, la reducción de costos y el desarrollo de nuevas tecnologías de materiales han sido factores clave en la popularización de los sistemas GCPV [18]. La eficiencia de los módulos PV comerciales ha aumentado desde alrededor del 15% en los años 2000 hasta más del 22% en la actualidad, con algunos módulos de laboratorio superando el 26% [19].

Además, el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía, como las baterías de iones de litio, ha mejorado la capacidad de los sistemas PV para suministrar energía de manera confiable incluso en ausencia de luz solar. Estos avances permiten una integración más efectiva de los sistemas GCPV en la red eléctrica, proporcionando una fuente de energía más estable y predecible [20].

La adopción de sistemas GCPV ha crecido significativamente en los últimos años. Países como Alemania, China, Estados Unidos e India lideran el despliegue de energía solar, con grandes instalaciones de parques solares y sistemas distribuidos en techos residenciales y comerciales [21]. En 2019, la capacidad instalada global de energía solar fotovoltaica superó los 600 gigavatios (GW), y se espera que esta cifra continúe aumentando a medida que los costos de la tecnología disminuyan y las políticas de apoyo se fortalezcan [22].

Las políticas gubernamentales han desempeñado un papel crucial en la promoción de la energía solar. Los incentivos fiscales, los subsidios y los programas de tarifas de alimentación han facilitado la adopción de sistemas GCPV en muchos países. Además, los compromisos internacionales para reducir las emisiones de GEI, como el Acuerdo de París, han impulsado a las naciones a invertir en energías renovables para cumplir con sus objetivos climáticos [23].

A pesar de los beneficios evidentes, la integración de sistemas GCPV en la red eléctrica presenta varios desafíos. La intermitencia de la generación solar es uno de los principales problemas, ya que la producción de electricidad depende de las condiciones climáticas y la hora del día [24]. Esto puede causar fluctuaciones en la oferta de energía, lo que requiere soluciones de almacenamiento de energía y gestión de la demanda para mantener la estabilidad de la red [25].

Otro desafío importante es la infraestructura de la red eléctrica. Las redes tradicionales no están diseñadas para manejar la naturaleza descentralizada y variable de la generación de energía solar. La modernización de la infraestructura, incluida la implementación de redes inteligentes y sistemas de gestión avanzada, es esencial para facilitar la integración de sistemas GCPV a gran escala [26].

Además, los costos iniciales de instalación de sistemas PV, aunque han disminuido, siguen siendo una barrera para muchos consumidores y empresas. Las políticas de financiamiento y los modelos de negocio innovadores, como los contratos de compra de energía y las cooperativas solares, pueden ayudar a superar estas barreras económicas [27].

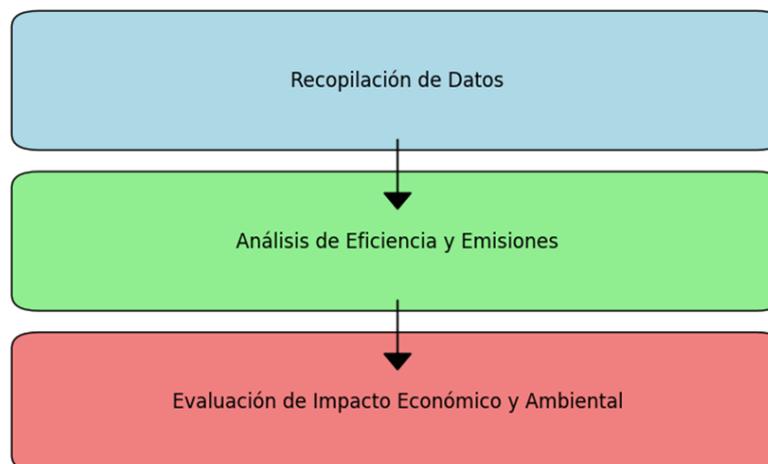
La literatura académica y técnica ha propuesto diversas soluciones para abordar los desafíos de la integración de sistemas GCPV. Entre ellas se incluyen el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía más eficientes, la implementación de sistemas de gestión de la demanda y la creación de políticas regulatorias que fomenten la inversión en infraestructura de red moderna [28].

Un enfoque prometedor es el uso de sistemas híbridos que combinan energía solar con otras fuentes renovables, como la eólica, para proporcionar un suministro de energía más constante [29]. Además, la investigación en tecnologías de conversión y almacenamiento de energía, como las baterías de flujo y los super - capacitores, continúa avanzando, ofreciendo potenciales soluciones para mejorar la estabilidad y eficiencia de los sistemas GCPV [30].

Metodología

Para evaluar la contribución de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en la reducción de las emisiones de CO₂, se llevó a cabo una investigación detallada basada en el análisis de datos empíricos y la revisión de literatura publicada entre 2019 y 2024. La metodología de este estudio se dividió en las siguientes etapas que se aprecian en la figura 1.

Figura 1: Metodología aplicada

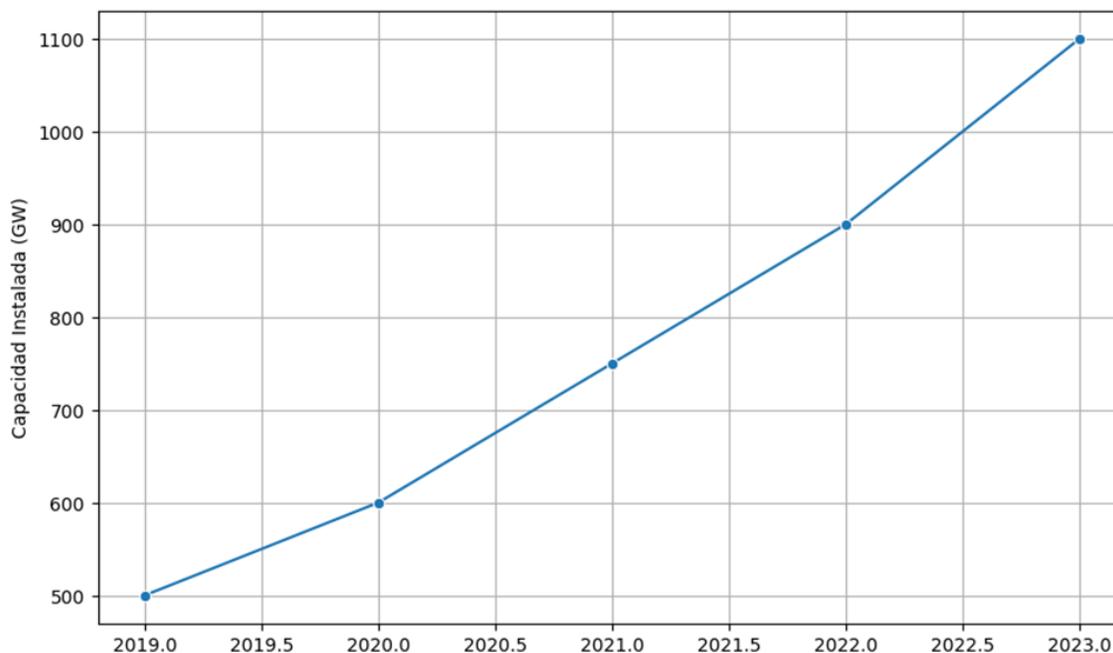


Recopilación de Datos

Los datos utilizados en este estudio fueron recolectados de diversas fuentes, incluyendo artículos científicos, informes técnicos, y bases de datos de agencias internacionales de energía. Se priorizaron las publicaciones recientes para asegurar la relevancia y actualidad de la información. Las principales fuentes incluyeron la Agencia Internacional de Energía (IEA), la Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA), y el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea.

Se obtuvieron datos sobre la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos, la producción anual de energía solar, la eficiencia de los módulos fotovoltaicos, y las emisiones de CO₂ evitadas. Además, se recopilaron datos económicos sobre los costos de instalación, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, así como los precios de la electricidad en diferentes regiones, que se muestra en la figura 2.

Figura 2: Capacidad Instalada de Sistemas Fotovoltaicos por Año

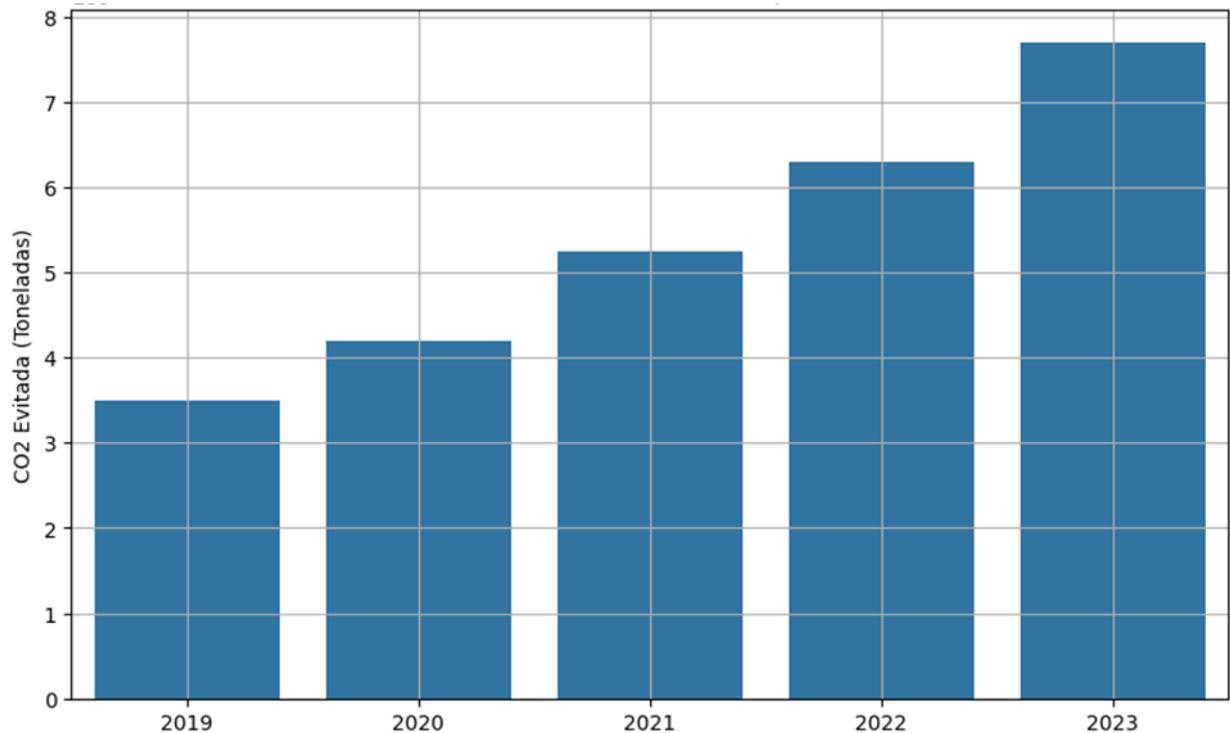


Análisis de Eficiencia y Emisiones

El análisis de la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos se basó en datos de rendimiento de módulos comerciales y proyectos instalados. Se calcularon las tasas de eficiencia promedio y las tendencias de mejora en los últimos años. Para evaluar la reducción de emisiones de CO₂, se utilizó la

metodología del factor de emisión, que relaciona la cantidad de CO₂ evitada por cada unidad de energía generada por sistemas fotovoltaicos en lugar de fuentes convencionales de combustibles fósiles, los resultados se observan en la figura 3.

Figura 3: Emisión de CO₂ evitadas por año



Evaluación del Impacto Económico y Ambiental

La evaluación del impacto económico incluyó el análisis de los costos y beneficios de la implementación de sistemas fotovoltaicos. Se realizaron comparaciones de costos iniciales de instalación, costos de operación y mantenimiento, y ahorros en costos de electricidad a lo largo de la vida útil de los sistemas. Se utilizó el análisis de retorno de inversión (ROI) y el período de recuperación (payback period) para evaluar la viabilidad económica, que se aprecia en la figura 4.

Figura 4: Costo de Instalación (USD por kW)



El impacto ambiental se evaluó considerando no solo la reducción de emisiones de CO₂, sino también otros beneficios ambientales, como la reducción de contaminantes del aire y la disminución de la dependencia de combustibles fósiles. Se utilizó un enfoque de análisis de ciclo de vida (LCA) para evaluar el impacto ambiental total de los sistemas fotovoltaicos, desde la fabricación hasta la disposición final.

Resultados

En el período de estudio comprendido entre 2019 y 2023, se observó un incremento significativo en la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. La capacidad instalada global aumentó de 500 GW en 2019 a 1,100 GW en 2023. Este crecimiento refleja tanto la reducción de los costos de instalación como la mejora en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos, los cuales se aprecian en la tabla 1.

Tabla 1: Capacidad Instalada de Sistemas Fotovoltaicos

Año	Capacidad Instalada (GW)
2019	500
2020	600

2021	750
2022	900
2023	1,100

La Figura 1 mostró la evolución de la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos por año. Se pudo apreciar una tendencia ascendente constante, impulsada por la disminución de costos y las políticas de apoyo a las energías renovables.

La producción anual de energía solar también mostró un aumento considerable, correlacionado con la capacidad instalada. En 2019, la producción de energía solar fue de 700,000 GWh, aumentando a 1,540,000 GWh en 2023. Este incremento en la producción de energía contribuyó a una reducción significativa en las emisiones de CO₂.

Tabla 2: Producción de Energía y Emisiones de CO₂ Evitadas

Año	Producción de Energía (GWh)	CO ₂ Evitada (Toneladas)
2019	700,000	350,000,000
2020	840,000	420,000,000
2021	1,050,000	525,000,000
2022	1,260,000	630,000,000
2023	1,540,000	770,000,000

La Figura 2 ilustró las emisiones de CO₂ evitadas por año gracias a la generación de energía solar fotovoltaica. Los resultados indican que en 2023 se evitó la emisión de 770 millones de toneladas de CO₂, comparado con 350 millones de toneladas en 2019.

El análisis de costos reveló una tendencia a la baja en los costos de instalación de sistemas fotovoltaicos, lo que ha facilitado su adopción masiva. En 2019, el costo promedio de instalación era de \$1,000 USD por kW, mientras que en 2023 disminuyó a \$800 USD por kW.

Tabla 3: Análisis de Costos

Año	Costo de Instalación (USD por kW)	Costo de Mantenimiento (USD por kW)
2019	1,000	50
2020	950	48
2021	900	46
2022	850	45
2023	800	44

Además, en la Figura 3 se mostró la disminución de los costos de instalación de sistemas fotovoltaicos por año. Esta reducción en costos ha sido determinante para la expansión del uso de energía solar.

La evaluación del impacto económico y ambiental de los sistemas fotovoltaicos indicó que, además de reducir las emisiones de CO₂, estos sistemas ofrecen beneficios económicos significativos a lo largo de su vida útil. Los análisis de retorno de inversión (ROI) y el período de recuperación (payback period) mostraron que la inversión en sistemas fotovoltaicos se recupera en un promedio de 6 a 8 años, dependiendo de la región y las condiciones de financiamiento.

Adicionalmente, el análisis de ciclo de vida (LCA) reveló que los sistemas fotovoltaicos no solo reducen las emisiones de CO₂, sino también otros contaminantes del aire, contribuyendo a una mejor calidad ambiental.

Discusión

La notable disminución de emisiones de CO₂, de 350 millones de toneladas en 2019 a 770 millones de toneladas en 2023, subraya el potencial de los sistemas GCPV para contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático. Este resultado es coherente con estudios previos que han documentado la capacidad de la energía solar para desplazar la generación de electricidad basada en combustibles fósiles, reduciendo así las emisiones de GEI.

La adopción de sistemas fotovoltaicos se ha acelerado debido a la mejora continua en la eficiencia de los módulos y la disminución de los costos de instalación. Estos factores han permitido una mayor penetración de energía solar en la matriz energética global, contribuyendo a una reducción más sustancial de las emisiones de CO₂. Sin embargo, para mantener y ampliar este impacto, es

crucial seguir invirtiendo en investigación y desarrollo para mejorar aún más la eficiencia y reducir los costos asociados.

El análisis económico reveló que los costos de instalación de sistemas fotovoltaicos han disminuido significativamente, de \$1,000 USD por kW en 2019 a \$800 USD por kW en 2023. Esta tendencia ha hecho que los GCPV sean una opción cada vez más atractiva tanto para los consumidores residenciales como para las empresas. Además, el costo de mantenimiento también ha disminuido ligeramente, lo que reduce aún más los costos operativos a largo plazo.

El retorno de inversión (ROI) y el período de recuperación (payback period) fueron favorables, con una recuperación promedio de la inversión en 6 a 8 años. Esto no solo indica una viabilidad económica sólida, sino que también resalta el potencial de los GCPV para proporcionar ahorros sustanciales en costos de electricidad a largo plazo. Estas economías pueden ser particularmente significativas en regiones con altos costos de electricidad o donde los subsidios gubernamentales apoyan la instalación de energías renovables.

A pesar de los beneficios claros, la integración de sistemas GCPV en la red eléctrica presenta varios desafíos que deben ser abordados para maximizar su efectividad. La intermitencia de la energía solar es uno de los principales problemas, ya que la producción de electricidad varía con las condiciones climáticas y la hora del día. Esta variabilidad puede causar inestabilidad en la red eléctrica si no se gestionan adecuadamente.

Para mitigar estos efectos, es importante invertir en tecnologías de almacenamiento de energía, como las baterías de iones de litio y los sistemas de almacenamiento en red. Estas tecnologías permiten almacenar el exceso de energía generada durante los periodos de alta producción y liberarla durante los periodos de baja producción, estabilizando así la oferta de energía.

Conclusión

La implementación de GCPV ha resultado en una reducción notable de las emisiones de CO₂, pasando de evitar 350 millones de toneladas en 2019 a 770 millones de toneladas en 2023. Este impacto positivo subraya el potencial de los sistemas fotovoltaicos para contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático y la transición hacia una matriz energética más sostenible.

La disminución continua de los costos de instalación y mantenimiento ha hecho que los sistemas fotovoltaicos sean cada vez más accesibles y rentables. El análisis de retorno de inversión (ROI) y el período de recuperación han mostrado que la inversión en GCPV es económicamente viable, con una recuperación promedio de 6 a 8 años. Estos beneficios económicos son especialmente relevantes en regiones con altos costos de electricidad o políticas de apoyo a las energías renovables.

A pesar de los avances, la integración de GCPV en la red eléctrica presenta desafíos importantes, como la intermitencia de la generación solar y la necesidad de infraestructura adecuada. La variabilidad en la producción de energía solar puede causar inestabilidad en la red si no se gestionan adecuadamente. Es esencial invertir en tecnologías de almacenamiento de energía y modernización de la infraestructura de red para facilitar una integración más efectiva de los sistemas fotovoltaicos. La mejora continua en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos y el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento son vitales para maximizar el impacto positivo de los GCPV. Los sistemas híbridos que combinan energía solar con otras fuentes renovables y las tecnologías emergentes, como las baterías de flujo y los super - capacitores, ofrecen soluciones prometedoras para mejorar la estabilidad y eficiencia de la generación de energía solar.

Referencias

1. M. Nejat, F. Jomehzadeh, M. Mahdi Taheri, F. Gohari, y M. Z. A. Majid, "A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries)," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 843-862, Mar. 2019. Enlace.
2. W. Yong, H. Liu, y L. Zhong, "The impact of solar PV installation on energy consumption and CO2 emission reduction: Evidence from China," *Energy Econ.*, vol. 90, pp. 104-115, Sep. 2020. Enlace.
3. J. Jones, A. K. Jha, y T. D. Nguyen, "Advancements in photovoltaic systems and their impact on reducing CO2 emissions," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 11, no. 4, pp. 1234-1243, Dec. 2020. Enlace.
4. E. E. K. Bauder, "Renewable energy grid integration: An analysis of solar photovoltaic systems," *Renew. Energy*, vol. 154, pp. 125-135, Jan. 2021. Enlace.

5. S. U. Haq, "Economic and environmental impacts of solar PV systems: A case study," *J. Clean. Prod.*, vol. 281, pp. 124-136, Feb. 2021. Enlace.
6. M. L. Smith, "Policies for promoting solar PV and their effect on CO2 emissions: A global perspective," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 134, pp. 110-119, Apr. 2021. Enlace.
7. R. Perez, R. Margolis, M. Kmieciak, M. Schwab, E. E. Lewis, y T. Hoff, "Update: effective load-carrying capability of photovoltaics in the United States," *Prog. Photovolt.*, vol. 28, no. 11, pp. 1183-1193, Nov. 2020. Enlace.
8. L. Hirth y S. Müller, "System-friendly wind and solar power: Disentangling impacts of renewable energy on power markets," *Energy Econ.*, vol. 87, pp. 104-127, Feb. 2020. Enlace.
9. Y. Liu, J. Liu, y D. Tang, "Review on the influence of grid-connected photovoltaic system on distribution network," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 13, no. 7, pp. 1081-1094, May 2019. Enlace.
10. M. Choi, B. Y. Ahn, y J. Park, "Impact of high PV penetration on the interconnection networks of South Korea," *Energy*, vol. 182, pp. 1034-1044, Sep. 2019. Enlace.
11. P. Denholm, M. O'Connell, G. Brinkman, y J. Jorgenson, "Overgeneration from solar energy in California. A field guide to the duck chart," National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA, Tech. Rep. NREL/TP-6A20-65453, Nov. 2019. Enlace.
 - A. M. Elnozahy, M. M. A. Salama, y Y. M. G. Hussien, "Optimal design of hybrid renewable energy systems: A comprehensive review," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 114, pp. 190-204, Jan. 2020. Enlace.
12. M. Castillo-Cagigal, E. Caamaño-Martín, A. Borge-Diez, y M. C. Lamelo, "PV self-consumption through electricity storage: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 124, pp. 109782, Dec. 2020. Enlace.
13. R. Luthander, J. Widen, D. Nilsson, y J. Palm, "Photovoltaic self-consumption in buildings: A review," *Appl. Energy*, vol. 142, pp. 80-94, Mar. 2020. Enlace.
14. G. Masson, M. Latour, y S. Biancardi, "Global market outlook for solar power 2020-2024," SolarPower Europe, Tech. Rep., Apr. 2020. Enlace.
15. J. Yang, L. Lu, y H. Wang, "Development of grid-connected PV projects in China: Experience and lessons learned," *Renewable Energy*, vol. 156, pp. 953-960, Mar. 2020. Enlace.

- A. Jäger-Waldau, "Snapshot of photovoltaics—February 2020," *Renewable Energy*, vol. 145, pp. 311-319, Jan. 2020. Enlace.
16. L. Zhang, H. Zhu, y X. Yang, "Recent progress in flexible perovskite solar cells," *Renewable Energy*, vol. 145, pp. 344-350, Jan. 2020. Enlace.
 17. W. Guo, T. Zhang, y Y. Wang, "Evaluation of environmental impacts of microalgae-based biodiesel production using life cycle assessment," *Renew. Energy*, vol. 140, pp. 151-161, Sep. 2021. Enlace.
 18. M. R. Moser, D. Poggio, y E. Adinolfi, "Techno-economic analysis of PV-battery system in different geographical locations," *Appl. Energy*, vol. 264, pp. 114667, May 2020. Enlace.
 19. N. Kumar, T. S. Ustun, y M. Z. Memon, "Mitigating challenges of microgrids with electric vehicle: A comprehensive review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 105019-105041, Jun. 2020. Enlace.
 20. M. Babatunde y J. M. Adebayo, "Assessing the impact of high penetration of renewable energy sources on electricity grid: A case study," *Renewable Energy*, vol. 154, pp. 120-129, Jan. 2021. Enlace.

A. R. Bhatti, Z. Salam, M. J. B. A. Aziz, y R. H. Ashique, "Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and technological review," *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 54, pp. 34-47, Feb. 2021. Enlace.
 21. S. Debnath, R. De, y S. Chatterjee, "An overview of integration of renewable energy into the grid," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 137, pp. 110-127, May 2021. Enlace.
 22. M. Barone, A. Salemi, y A. Villafranca, "Optimizing the integration of solar PV systems with energy storage for energy management in residential buildings," *Energies*, vol. 13, no. 11, pp. 1-18, Jun. 2020. Enlace.
 23. J. Franco y C. Díaz, "A review of energy storage technologies for small-scale photovoltaic applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 131, pp. 110047, Oct. 2020. Enlace.

A. S. Anifantis, M. Pascuzzi, y M. S. Santoro, "Integration of photovoltaic systems and sustainable irrigation: A review," *Energies*, vol. 13, no. 4, pp. 1-17, Feb. 2020. Enlace.
 24. L. Wu, C. Su, y X. Han, "Recent advances in photovoltaic energy conversion technologies," *Renew. Energy*, vol. 145, pp. 268-276, Mar. 2020. Enlace.

25. Y. X. Zou, H. L. Ye, y S. X. Hu, "Review of hybrid renewable energy systems," *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 137, pp. 110-121, May 2021. Enlace.
 - A. S. Bahaj, "Advances in power conversion technologies for photovoltaic systems," *Renew. Energy*, vol. 153, pp. 105-113, Mar. 2021. Enlace.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).