

Impacto de la industria 4.0 y su relación con la energía fotovoltaica en Ecuador
Impact of industry 4.0 and its relationship with photovoltaic energy in Ecuador

Efrén Damián Albán Andrade; Cinthya Gissela Oña Cando

Resumen

La Industria 4.0 está revolucionando la forma en que operan los sectores industriales, incluida la energía fotovoltaica, que aprovecha la luz solar para generar electricidad sostenible. Se destaca el potencial de la energía solar para reducir las emisiones de CO₂ y promover la sostenibilidad energética. No obstante, se identifican desafíos significativos, como la integración en la red eléctrica y la sostenibilidad financiera. El estudio se llevó a cabo mediante una revisión sistemática utilizando el método PRISMA, con criterios de inclusión y exclusión claros. Se realizaron búsquedas, en un periodo de los últimos 5 años (2019-2024) en diversas bases de datos y se seleccionaron estudios relevantes que abordaran la relación entre la Industria 4.0 y la energía fotovoltaica en Ecuador. Los resultados presentan una variedad de investigaciones que exploran la viabilidad y los impactos de la energía fotovoltaica en el país. Se destacan proyectos de implementación, análisis tecno económicos, evaluaciones de sistemas eléctricos y estudios sobre la ubicación óptima de parques solares fotovoltaicos. En conclusión, se subraya la importancia de la innovación tecnológica y las políticas gubernamentales para impulsar la adopción de la energía solar en Ecuador. Se resalta la necesidad de superar desafíos como los altos costos de instalación y la regulación para avanzar hacia un sistema energético más sostenible y basado en energías renovables.

Palabras clave: Industria 4.0, energía fotovoltaica, transformación digital, tecnologías emergentes.

Abstract

The Industry 4.0 is revolutionizing the way industrial sectors operate, including photovoltaic energy, which harnesses sunlight to generate sustainable electricity. The potential of solar energy to reduce CO₂ emissions and promote energy sustainability is highlighted. However, significant challenges, such as integration into the electrical grid and financial sustainability, are identified. The study was conducted through a systematic review using the PRISMA method, with clear inclusion and exclusion criteria. Searches were performed, along the last 5 years (2019-2024) in various databases, selecting relevant studies addressing the relationship between Industry 4.0 and photovoltaic energy in Ecuador. Results present a variety of research exploring the feasibility and impacts of photovoltaic energy in the country. Implementation projects, techno-economic analyses, electrical system evaluations, and studies on optimal photovoltaic solar park locations are highlighted. In conclusion, the importance of technological innovation and government policies to drive solar energy adoption in Ecuador is emphasized. Overcoming challenges such as high installation costs and regulation is crucial to advancing towards a more sustainable energy system based on renewable energies.

Keywords: Industry 4.0, photovoltaic energy, digital transformation, emerging technologies.

**CONFLUENCIA DE
INNOVACIONES CIENTÍFICAS**
Enero - junio, V°5-N°1; 2024

- ✓ **Recibido:** 10/02/2024
- ✓ **Aceptado:** 16/02/2024
- ✓ **Publicado:** 30/06/2024

PAIS

- 📍 **Cotopaxi, Ecuador**
- 📍 **Cotopaxi, Ecuador**

INSTITUCIÓN

- Universidad Técnica de Cotopaxi,
- Universidad Técnica de Cotopaxi

CORREO:

- ✉ efren.alban9514@utc.edu.ec
- ✉ cinthygissela@gmail.com

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0000-0001-7679-1740>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0003-0411-7954>

FORMATO DE CITA APA.

Alban, E. Oña, C. (2024). *Impacto de la industria 4.0 y su relación con la energía fotovoltaica en Ecuador*. Revista G-ner@ndo, V°5 (N°1), 224 – 239.

Introducción

La Industria 4.0, también conocida como la Cuarta Revolución Industrial, es un período de transformación digital que está cambiando la forma en que se produce, consume, y calidad de vida. Se caracteriza por el uso de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT), la robótica y la impresión 3D (Cwaik, 2020). Estas tecnologías tienen el potencial de transformar la industria energética, incluida la energía fotovoltaica (Ghobakhloo & Fathi, 2021). La energía fotovoltaica es una forma de energía renovable que genera electricidad a partir de la luz solar, siendo una fuente limpia y sostenible que tiene el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Tawalbeh et al., 2021).

En Ecuador, la energía fotovoltaica está en auge. Su adopción está creciendo significativamente, impulsada por políticas gubernamentales favorables y avances tecnológicos. Sin embargo, también existen desafíos que deben abordarse, como la integración en la red eléctrica, la sostenibilidad financiera y la oferta de fabricantes de paneles solares. Además, las características geográficas y climáticas únicas del país, pueden influir en la implementación de sistemas fotovoltaicos (Yajamín et al., 2023).

Además, el país, tiene un gran potencial para la energía solar debido a su ubicación en la zona intertropical, incluyendo a la región de los Andes, la cual recibe altos niveles de radiación durante el año. Es así, como la radiación solar promedio en el país es de 4.378 kW/m² día, según un estudio de Echeagaray-Aveiga et al. (2018). Por otro lado, en un estudio de Jara (2021) el 9,3% del territorio nacional (23.819 km²) es apto para el desarrollo de energía fotovoltaica complementaria. De este territorio, el 0,32% (805 km²) es el más adecuado para el desarrollo de energía fotovoltaica complementaria. Esto da como resultado un potencial teórico bruto de 35,7 GWp (61,5 GWh/año). La principal fuente de generación de electricidad proviene de las centrales hidroeléctricas, lo que sitúa a la energía solar dentro de las tecnologías renovables no

convencionales. Sin embargo, de acuerdo con informes anuales de la IEA, se ha observado un aumento del 9,4% en el número de instalaciones solares (Gómez et al., 2022).

Considerando investigaciones previas, el propósito de este estudio es analizar el efecto de la Industria 4.0 en la utilización de la energía fotovoltaica en Ecuador. El objetivo de la revisión bibliográfica consiste en identificar, valorar y resumir la literatura disponible sobre este tema específico. La energía solar es una fuente renovable que proviene de la radiación emitida por el sol. Esta se aprovecha para generar energía eléctrica, mediante paneles fotovoltaicos, y energía térmica, a través de colectores solares. Es considerada como una alternativa sostenible y limpia que puede contribuir significativamente a la diversificación de las fuentes de energía y a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles. Aportando así al cambio hacia un sistema energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente (Redrován et al., 2022).

De acuerdo con la información proporcionada por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (2022), durante el período comprendido entre 2010 y 2020, el sector industrial, que abarca procesos extractivos o de manufactura en empresas de diferentes tamaños, representó el segundo mayor consumidor de electricidad a nivel nacional, con un uso del 17,4%. A esto se les suma el sector comercial y público, que alcanzó un 6,4% del total nacional. Estos datos son relevantes para la definición de estrategias que incorporen el uso de fuentes de energía no convencionales. Las Smart Grids, o redes inteligentes, representan sistemas de gestión de energía avanzados que incorporan los principios de la Industria 4.0 para mejorar la eficiencia y fiabilidad en la distribución eléctrica. Su arquitectura consta de tres capas: la de sistemas de energía, encargada de generar y distribuir electricidad; la de comunicaciones, que conecta los componentes del sistema y transmite datos; y la de aplicaciones, donde se procesa la información para monitoreo, control y otras funciones (Rathor & Saxena, 2020).

Estos sistemas dependen de diversas redes, como la de área de construcción, industrial, vecina y amplia. Cada una de ellas cumple un papel específico en la integración y transmisión

de datos, desde la recolección en el nivel local hasta la transmisión a centros de control principales. Las Smart Grids se benefician de tecnologías emergentes como IoT, IA y computación en el borde para optimizar la gestión de la energía y mejorar la interoperabilidad entre los diferentes componentes del sistema (Liu et al., 2019).

Materiales y métodos

Para el presente estudio se realizó una revisión sistemática ya que es un método riguroso que permite la identificación, selección y evaluación crítica de los estudios relevantes que abordan el tema de interés. Esta revisión permitirá recopilar la información disponible sobre el impacto de la industria 4.0 y su relación con la energía fotovoltaica en Ecuador. Utilizando el método PRISMA (Page et al., 2021). Se incluyeron artículos publicados entre 2019 y 2024, tanto en inglés como en español, centrados específicamente en el estado actual de la relación entre la Industria 4.0 y la energía fotovoltaica en el contexto ecuatoriano. Además, se considerarán estudios que utilicen metodologías sólidas y apropiadas para el análisis del tema mencionado, como análisis de casos, estudios de campo, modelos predictivos, entre otros. Durante el proceso de exclusión, se descartaron los artículos que no estaban directamente relacionados con la Industria 4.0 y la energía fotovoltaica, además de artículos cuyo periodo de publicación se encuentra fuera del rango establecido.

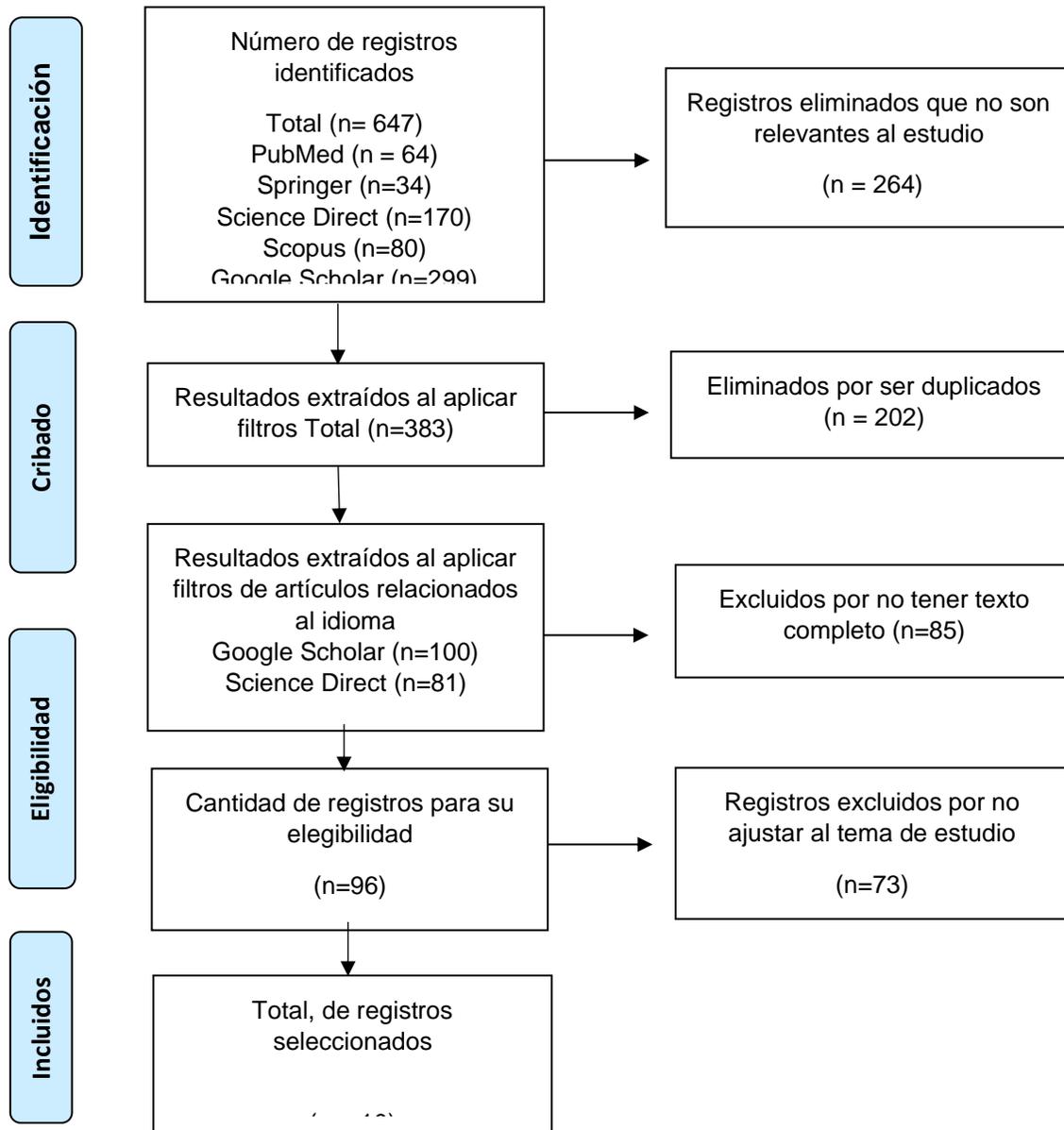
Se utilizaron buscadores y bases de datos especializadas en el campo de la salud, tales como PubMed, Scopus, Web of Science, Springer, Google Scholar. La revisión sistemática sobre el impacto de la Industria 4.0 en la energía fotovoltaica en Ecuador se basó en una estrategia de búsqueda exhaustiva que combinó términos clave en inglés y español. Se emplearon operadores booleanos para combinar palabras como “Industria 4.0”, “energía fotovoltaica”, y “Ecuador”, así como variaciones como “Fourth Industrial Revolution”, “digitalización industrial”, y “manufactura avanzada”. Esta estrategia permitió abarcar un espectro amplio de literatura relevante,

incluyendo investigaciones que exploran la intersección entre la revolución industrial actual y la adopción de tecnologías fotovoltaicas en el contexto ecuatoriano.

Resultados y discusión

Para el análisis de sesgos se sigue una metodología de eliminación de acuerdo a los criterios de inclusión (Ver figura 1).

Figura 1 : Diagrama de flujo



La etapa inicial involucró la recolección de 647 documentos relacionados con el área de estudio. Después de eliminar duplicados y aplicar criterios de exclusión basados en los títulos, se redujo la lista de artículos a 183 para que se examinen con mayor detalle (como lectura de abstract, introducción y conclusiones). De este grupo se seleccionaron 98 artículos que presentaban una relación más significativa con la temática de estudio. Posteriormente, tras un análisis exhaustivo del contenido, se desestimaron 73 publicaciones que no cumplían con los criterios de inclusión predefinidos. Finalmente, se optó por la inclusión de 10 artículos que se adecuaban a los objetivos de la investigación y que habían sido publicados en los últimos 5 años.

Tabla 1: Diagrama de flujo

Autor	Objetivo	Metodología	Resultados	Conclusiones
(Parreño et al., 2020)	Diseñar un módulo de energía solar para reducir el uso de fuentes convencionales y disminuir las emisiones de CO ₂ en el sistema de monitoreo de la Universidad ESPE en Latacunga, Cotopaxi.	Se evaluó la viabilidad de la energía solar en Ecuador y se implementó un módulo solar. Se realizaron mediciones para determinar la capacidad de generación y se evaluó la eficiencia del sistema.	Los módulos solares generaron 100W diarios, suministrando energía durante 4 horas al sistema. Aunque es eficiente, no satisfizo las necesidades diarias de los hogares ecuatorianos.	Módulos solares más potentes podrían reducir las emisiones de CO ₂ , pero la adopción masiva puede limitarse por los altos costos de instalación y los bajos precios de la energía eléctrica en Ecuador.

(Icaza et al., 2022)	<p>Evaluar el Sistema Energético Eléctrico Sudamericano con un enfoque en la inclusión de energías renovables, centrándose en el caso ecuatoriano, que históricamente ha dependido de combustibles fósiles, pero busca adaptarse hacia fuentes más limpias y sostenibles.</p>	<p>Realizar un análisis del estado del sistema eléctrico ecuatoriano y utilizar el software Energyplan para proponer fuentes de energía renovable viables y sus participaciones para satisfacer la demanda proyectada hasta el 2050.</p>	<p>Se propone un plan para un sistema de generación eléctrica ecuatoriano 100% renovable para el año 2050, con una potencia instalada proyectada de 20 GW y una producción anual de 72,24 TWh. La energía hidroeléctrica, solar fotovoltaica y eólica serán las principales fuentes en la matriz energética, con un coste medio de producción de 1 MWh de aproximadamente 18 céntimos de dólar.</p>	<p>La transición hacia un sistema eléctrico 100% renovable tendrá un impacto positivo en el sistema monetario, aumentará la producción y mejorará la calidad de vida de los ecuatorianos.</p>
(Espinoza et al., 2019)	<p>Realizar un análisis tecnoeconómico de tres pequeños sistemas fotovoltaicos en ciudades del Perú para evaluar su viabilidad como soluciones de generación distribuida. Se comparan dos escenarios de financiamiento:</p>	<p>Se recopilaron datos energéticos reales de los sistemas fotovoltaicos en Arequipa, Tacna y Lima. Se evaluaron económicamente dos escenarios: arrendamiento y propiedad. Se calculó el Costo Nivelado de Electricidad (LCOE) para cada escenario y ciudad.</p>	<p>El LCOE varía de 0,10 USD/kWh a 0,20 USD/kWh, siendo competitivo solo en Arequipa. En Tacna y Lima, la viabilidad depende del mecanismo de financiamiento. La paridad de red en Lima puede no alcanzarse hasta 2027. Las empresas que venden energía fotovoltaica pueden enfrentar situaciones no rentables.</p>	<p>Los pequeños proyectos fotovoltaicos pueden ser viables si los bancos ofrecen financiamiento y existe política gubernamental para promover esta tecnología. Esto podría convertirlos en una solución para usuarios residenciales en el Perú.</p>

	arrendamiento y propiedad.			
(Villacreses et al., 2022)	Identificar ubicaciones óptimas para parques solares fotovoltaicos en Ecuador, cumpliendo con la regulación energética y utilizando técnicas SIG con MCDM.	Se evaluaron nueve factores y cuatro restricciones, ponderados con el método del Proceso Analítico de Jerarquía. Se aplicaron siete métodos de MCDM a sitios con potencial solar. Se realizó un análisis de correlación de Pearson y de error absoluto para verificar los resultados.	Loja y partes del centro norte (Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi) son las áreas más adecuadas debido a su alta radiación solar, velocidad del viento y temperaturas para el enfriamiento de los paneles solares.	La combinación de técnicas SIG con MCDM facilita la identificación de sitios idóneos para parques solares fotovoltaicos en Ecuador, contribuyendo a la promoción de energías renovables y la diversificación energética del país. La alta correlación entre los métodos indica la fiabilidad de los resultados obtenidos.
(Borowski, 2021)	El estudio analiza las innovaciones en el sector energético del siglo XXI, enfocándose en la digitalización y otras estrategias innovadoras, para entender su impacto en la sostenibilidad y el medio ambiente.	Se realiza un análisis exhaustivo de la literatura y datos de empresas energéticas que han implementado innovaciones tecnológicas. Se utilizan herramientas analíticas cualitativas y cuantitativas para evaluar el impacto de estas acciones.	Las empresas energéticas que adoptaron innovaciones tecnológicas experimentaron mejoras en eficiencia, reducción de costos y huella ambiental. Tecnologías como blockchain y redes inteligentes están transformando el mercado eléctrico.	La innovación tecnológica es crucial en el sector energético actual. Las empresas que la adoptan, mejoran su competitividad, reducen su impacto ambiental y contribuyen al desarrollo sostenible.
(Carrillo et al., 2022)	El estudio evalúa la	Se empleó un SIG para evaluar el potencial	Se determinó que El Aromo en el cantón Manta	La planta fotovoltaica en El

	<p>viabilidad y los impactos de instalar una planta fotovoltaica en El Aromo, Manta, Ecuador, analizando beneficios ambientales, sociales y económicos.</p>	<p>solar y se diseñaron sistemas fotovoltaicos. Se examinaron aspectos de instalación y conexión a inversores eléctricos.</p>	<p>presenta condiciones favorables para la instalación de una planta fotovoltaica, aprovechando la infraestructura existente de 140 viviendas como soporte para los paneles solares. Se proyecta una reducción estimada de emisiones de CO2 de 141.6 toneladas durante la vida útil de las instalaciones, así como un ahorro significativo de consumo de Fuel Oil. Además, se espera la creación de empleos durante la fase de instalación y mantenimiento de la planta.</p>	<p>Aromo es viable y puede impactar positivamente en el medio ambiente, generando empleo y desarrollo económico. Es crucial considerar estos aspectos en la implementación de proyectos de energía renovable.</p>
<p>(Ayala-Pico et al., 2023)</p>	<p>Identificar la situación actual y las iniciativas para reducir las emisiones de CO2 y disminuir la dependencia de combustibles no renovables.</p>	<p>Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la literatura, centrándose en los estudios realizados en varias islas de Galápagos bajo la iniciativa de Cero Combustibles Fósiles. Se examinaron los proyectos de energía renovable y se evaluaron los obstáculos regulatorios para su implementación.</p>	<p>Se encontró que, aunque la cobertura eléctrica en Galápagos es alta (99.46%), la mayoría de la energía (74.41%) proviene de fuentes no renovables. Se identificaron diez plantas de energía renovable con una capacidad total de 7.24 MW. Se resaltaron los planes de expansión para reducir las emisiones de CO2 y disminuir la dependencia de combustibles fósiles.</p>	<p>Las regulaciones actuales presentan desafíos para la implementación de proyectos de energía renovable a gran escala en Galápagos. A pesar de los esfuerzos para aumentar la generación de energía limpia, la dependencia de combustibles no renovables sigue siendo alta.</p>
<p>(Hidalgo-Leon et al., 2022)</p>	<p>Determinar la configuración más eficiente y</p>	<p>Se utilizaron simulaciones con el software Homer Pro,</p>	<p>La configuración diésel/fotovoltaica/batería con eficiencia energética</p>	<p>Se concluye que la configuración diésel/fotovoltaica/b</p>

sostenible, con un horizonte de 15 años. Se analizaron dos condiciones de carga: el perfil de carga actual y uno reducido mediante eficiencia energética. Se compararon los costos actuales netos, la estabilidad del sistema y las emisiones de CO2 para cada configuración. Mostró el mejor desempeño, con un sistema fotovoltaico de 160 kWp, un generador diésel existente de 165 kW y un sistema de almacenamiento de 283 kWh. Las configuraciones con generador diésel autónomo y fotovoltaica/diésel exhibieron costos netos más elevados, reduciendo la inestabilidad y emisiones de CO2 superiores. Las configuraciones sin eficiencia energética experimentaron incrementos de costos entre 15% y 40%.

Se enfatizó la necesidad de acelerar la adopción de la energía solar fotovoltaica y otras fuentes renovables para cumplir con los objetivos de mitigación del cambio climático. Se subrayó el papel de la energía renovable en Ecuador, contribuyendo a la mitigación y compensación de emisiones de CO2.

(Verlinden, 2020)

Identificar los requisitos de capacidad de generación fotovoltaica y la necesidad de aumentar la eficiencia de producción de la industria fotovoltaica. Se realizó un análisis exhaustivo de la capacidad necesaria de generación fotovoltaica para 2050, estimada en alrededor de 70 TW. Se evaluó la capacidad de la industria para expandirse a un ritmo de aproximadamente 3

Se concluyó que el despliegue acelerado de sistemas fotovoltaicos es fundamental para lograr un crecimiento rápido y evitar una caída significativa del mercado para 2050. Se destacó la capacidad de la industria fotovoltaica para crecer rápidamente y reducir los

Se enfatizó la necesidad de acelerar la adopción de la energía solar fotovoltaica y otras fuentes renovables para cumplir con los objetivos de mitigación del cambio climático. Se subrayó el papel

	para alcanzar estas metas.	TW al año. Se identificaron desafíos tecnológicos, económicos y de sostenibilidad, como el consumo de plata y la mejora del reciclaje de materiales, que deben abordarse para garantizar el éxito de la transición hacia la energía solar fotovoltaica.	Se costos de fabricación. Se identificaron áreas de mejora, como la reducción del consumo de plata y la mejora del reciclaje de materiales, para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la energía solar fotovoltaica.	central que desempeñará la energía solar fotovoltaica en la transición hacia una economía energética sostenible y libre de carbono.
(Tawalbeh et al., 2021)	El objetivo del estudio es realizar un análisis integral de los posibles desafíos ambientales asociados con los sistemas fotovoltaicos (PV) desde su fabricación hasta su eliminación.	Se llevó a cabo un análisis exhaustivo que consideró todas las etapas del ciclo de vida de los sistemas fotovoltaicos, desde la fabricación hasta la eliminación. Se examinaron los posibles impactos ambientales, incluida la producción de contaminantes peligrosos, la contaminación de los recursos hídricos y las emisiones de contaminantes del aire durante la fabricación.	Los resultados del estudio mostraron que los impactos ambientales negativos de los sistemas fotovoltaicos pueden mitigarse sustancialmente mediante un diseño optimizado, el desarrollo de materiales novedosos y el reciclaje de materiales siempre que sea posible. Se encontró que las emisiones de GEI de los sistemas fotovoltaicos son considerablemente menores en comparación con los combustibles fósiles, con una huella de carbono en el rango de 14 a 73 g CO ₂ -eq/kWh, en comparación con 742 g CO ₂ -eq/kWh para el petróleo.	Se concluyó que la implementación de estrategias de diseño innovadoras y el reciclaje de materiales pueden reducir significativamente las emisiones de GEI y mejorar la sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos. Se sugiere que la huella de carbono de los sistemas fotovoltaicos podría reducirse aún más utilizando nuevos materiales de fabricación y prácticas de reciclaje.

El objetivo central de esta investigación fue examinar el impacto de la Industria 4.0 en la adopción de la energía fotovoltaica en Ecuador. El propósito de la revisión bibliográfica es detectar, evaluar y resumir la literatura existente sobre esta temática particular. Se presentaron

investigaciones realizadas tanto en el país como en naciones vecinas que pueden proporcionar orientación sobre la creación y la observación de este tipo de estudios. En la investigación de Parreño et al. (2020), destaca las características y funciones del sistema de suministro de energía solar mensual en la estación Latacunga-Cotopaxi, Ecuador, revela una producción que varía a lo largo del año. Los datos muestran fluctuaciones en la cantidad de energía generada, con valores más altos durante los meses de enero, marzo, mayo, julio, agosto, octubre y diciembre, y valores ligeramente más bajos en febrero, abril, junio, septiembre y noviembre.

Estas variaciones pueden estar influenciadas por factores como la duración del día, la intensidad solar y las condiciones climáticas locales. Además, se destaca el análisis del impacto ambiental de los sistemas de generación solar, que incluye la estimación de emisiones de CO₂. Este aspecto es fundamental para comprender la contribución de la energía solar a la reducción de gases de efecto invernadero y su comparación con otras fuentes de generación eléctrica en diferentes regiones ecuatorianas. La evaluación de estas emisiones proporciona información crucial para la toma de decisiones en políticas energéticas y medioambientales a nivel nacional y regional. Por otro lado, en el Ecuador, debido a su ubicación geográfica, registra un elevado promedio anual de radiación solar que oscila entre 4 y 6 kWh/m², según lo indicado por Armijos-Cabrera et al. (2018), estos valores se asemejan a los informados en otras áreas tropicales, como Colombia, donde el potencial solar diario se sitúa en torno a los 4.5 kWh/m², de acuerdo con Nuñez et al., (2018). Esta situación es significativa para la instalación de capacidad solar fotovoltaica, estimada en alrededor de 9 MWp, la cual podría ser aprovechada mediante proyectos integrados en el sistema eléctrico nacional y en aplicaciones del ámbito privado.

Así mismo, en la investigación de Fatorachian & Kazemi (2021), se menciona que los módulos fotovoltaicos se instalan en techos planos o inclinados. En el caso de los techos inclinados, estos cuentan con un espacio de aire detrás de ellos. Además, el techo está equipado con un sistema de ventilación forzada encima de la abertura de la cavidad. La digitalización del

BIPV se logra mediante tecnologías emergentes como IoT, IA, computación en el borde, UAVs y drones. La adopción de estas tecnologías aprovecha la dinámica de redes digitales y el flujo masivo de información para empoderar la creación de valor, y en el caso de sistemas BIPV, mejorar su rendimiento al establecer automatización (Boyes et al., 2018).

Conclusiones

En síntesis, la revisión bibliográfica analiza el impacto de la Industria 4.0 en la adopción de la energía fotovoltaica en Ecuador. Se resalta el potencial solar del país y la implementación de proyectos para reducir la dependencia de combustibles fósiles y promover las energías renovables. A pesar del interés gubernamental y empresarial, persisten desafíos como los costos de instalación y la regulación. Se destaca la necesidad de innovación tecnológica y mejoras en políticas, para impulsar la adopción de la energía solar en Ecuador hacia un sistema energético más sostenible.

Referencias Bibliográficas

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2022). *Balance Nacional de Energía Eléctrica*.
- Armijos-Cabrera, M., González-Jaramillo, V., & Fries, A. (2018). *Caracterización de variables meteorológicas a ser usadas como fuentes de energía en la región sur del Ecuador*. 15, 13-23. <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v15i2.1348>
- Ayala-Pico, J., Arcos-Aviles, D., Ibarra, A., Fernandez, C., Guinjoan, F., & Martinez, W. (2023). Current development of electricity generation systems in the Galapagos Islands – Ecuador. *Renewable Energy Focus*, 46, 88-102. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.06.003>
- Borowski, P. F. (2021). Digitization, Digital Twins, Blockchain, and Industry 4.0 as Elements of Management Process in Enterprises in the Energy Sector. *Energies*, 14(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/en14071885>
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 101, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>
- Carrillo, D. E. A., Flores, N. O. B., Roman, J. F. J., Medranda, M. B. B., & Alvarado, C. A. H. (2022). Photovoltaic System to Improve Energy Efficiency. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 6(1), 18-26. <https://doi.org/10.53730/ijpse.v6n1.3146>
- Cwaik, J. (2020). *7R: Las siete revoluciones tecnológicas que transformarán nuestra vida*. CONECTA.
- Echegaray-Aveiga, R. C., Masabanda, M., Rodríguez, F., Toulkeridis, T., & Mato, F. (2018). Solar Energy Potential in Ecuador. *2018 International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)*, 46-51. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2018.8372318>
- Espinoza, R., Muñoz-Cerón, E., Aguilera, J., & de la Casa, J. (2019). Feasibility evaluation of residential photovoltaic self-consumption projects in Peru. *Renewable Energy*, 136, 414-427. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.003>
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2021). Impact of Industry 4.0 on supply chain performance. *Production Planning & Control*, 32(1), 63-81. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1712487>
- Ghobakhloo, M., & Fathi, M. (2021). Industry 4.0 and opportunities for energy sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126427. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126427>
-

- Gómez, E., Bermeo García, M., Muyulema Allaica, J. C., & Reyes Soriano, F. (2022). Sistemas de calentamiento y la energía solar: Una revisión sistemática. *593 Digital Publisher CEIT*, 7(Extra 4), 507-520.
- Hidalgo-Leon, R., Amoroso, F., Urquizo, J., Villavicencio, V., Torres, M., Singh, P., & Soriano, G. (2022). Feasibility Study for Off-Grid Hybrid Power Systems Considering an Energy Efficiency Initiative for an Island in Ecuador. *Energies*, 15(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/en15051776>
- Icaza, D., Borge-Diez, D., & Galindo, S. P. (2022). Analysis and proposal of energy planning and renewable energy plans in South America: Case study of Ecuador. *Renewable Energy*, 182, 314-342. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.126>
- Jara, J. (2021). *Potencial solar fotovoltaico del Ecuador*. Corporación Eléctrica del Ecuador – CELEC EP. https://www.centrosur.gob.ec/wp-content/uploads/2021/08/1-20210719-Solar_FV_AEERE_UDA-Jos%C3%A9-Jara.pdf
- Liu, Y., Yang, C., Jiang, L., Xie, S., & Zhang, Y. (2019). Intelligent Edge Computing for IoT-Based Energy Management in Smart Cities. *IEEE Network*, 33(2), 111-117. <https://doi.org/10.1109/MNET.2019.1800254>
- Núñez, M., Correa, J., Herrera, G., Gómez, P., Morón, S., & Fonseca, N. (2018). Estudio de percepción sobre energía limpia y auto sostenible. *IJMSOR: International Journal of Management Science & Operation Research*, 3(1), Article 1.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Parreño, J., Lara, O., Jumbo, R., Caicedo, H., & Sarzosa, D. (2020). Diseño de un módulo de energía solar como estrategia de ahorro energético y disminución de la emisión de CO2. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(15), Article 15.
- Rathor, S. K., & Saxena, D. (2020). Energy management system for smart grid: An overview and key issues. *International Journal of Energy Research*, 44(6), 4067-4109. <https://doi.org/10.1002/er.4883>
- Redrován, T. J. G., Ayala, M. A. S., & Castro, J. C. O. (2022). Gestión estratégica para el desarrollo de energía fotovoltaica en pequeñas industrias de la ciudad de Azogues: Caso
-

- de estudio industrias panificadoras. *MQRInvestigar*, 6(3), Article 3. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.3.2022.1396-1416>
- Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., & Alkasrawi, M. (2021). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, 759, 143528. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>
- Verlinden, P. J. (2020). Future challenges for photovoltaic manufacturing at the terawatt level. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 12(5), 053505. <https://doi.org/10.1063/5.0020380>
- Villacreses, G., Martínez-Gómez, J., Jijón, D., & Cordovez, M. (2022). Geolocation of photovoltaic farms using Geographic Information Systems (GIS) with Multiple-criteria decision-making (MCDM) methods: Case of the Ecuadorian energy regulation. *Energy Reports*, 8, 3526-3548. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.152>
- Yajamín, G. S. I., Carrión, D. F. C., Gualán, D. F. V., Zurita, R. C. B., & Carrion, H. D. C. (2023). Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: Avances, desafíos y perspectivas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 9493-9509. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835
-