



## Energías renovables y mitigación de gases de efecto invernadero: un análisis basado en revisión sistemática

Santos Andrés CASTILLO-VARGAS <sup>\*1,2</sup> , Alexander Manuel VILLOSLADA-CHILÓN <sup>1</sup> ,  
Frank William TOMAS-CABALLERO <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica del Perú, Trujillo, La Libertad, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte, Trujillo, La Libertad, Perú.

\*E-mail: [c24145@utp.edu.pe](mailto:c24145@utp.edu.pe)

Enviado el: 13/04/2025; Aceptado: 06/06/2025; Publicado el: 20/06/2025.

**RESUMEN:** El objetivo del presente estudio, fue evaluar el impacto de distintas fuentes de ER en la reducción de GEI y su aplicación en diversos sectores. A nivel metodológico, se realizó una revisión sistemática de literatura, utilizando el método PICO, a través de la cual se definieron las palabras claves y con el uso de conectores booleanos (OR y AND) y la aplicación de criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 27 artículos de Scopus, ScienceDirect y WoS, los cuales sirvieron para el análisis. Los resultados obtenidos mostraron que las ER apuntan a una reducción de GEI, en los sistemas híbridos la solar y eólica tienen una participación del 100% y 90,90% respectivamente, mientras que la biomasa e hidroeléctrica ofrecen beneficios en regiones con disponibilidad en infraestructuras hidroeléctricas y residuos orgánicos. No obstante, la adopción de ER enfrenta barreras económicas, técnicas y regulatorias, como altos costos iniciales y falta de infraestructura. Se concluyó que, las ER representan una alternativa viable para mitigar los GEI y combatir el cambio climático. Sin embargo, su expansión requiere políticas públicas, incentivos económicos y avances tecnológicos que permitan superar las barreras existentes y fomentar una transición energética sostenible.

**Palabras-clave:** sostenibilidad energética; impacto ambiental; ecoeficiencia; transición energética.

## Energías renováveis e atenuação dos gases com efeito de estufa: uma análise baseada numa revisão sistemática

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de diferentes fontes de ER na redução de GEE e sua aplicação em diferentes setores. Em nível metodológico, foi realizada uma revisão sistemática da literatura usando o método PICO, por meio do qual foram definidas palavras-chave e, com o uso de conectores booleanos (OR e AND) e a aplicação de critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 27 artigos da Scopus, ScienceDirect e WoS, que foram usados para a análise. Os resultados obtidos mostraram que as ER visam à redução de GEE, em sistemas híbridos, a energia solar e a eólica têm uma participação de 100% e 90,90%, respectivamente, enquanto a biomassa e a energia hidrelétrica oferecem benefícios em regiões com disponibilidade de infraestrutura hidrelétrica e resíduos orgânicos. No entanto, a adoção das ER enfrenta barreiras econômicas, técnicas e regulatórias, como altos custos iniciais e falta de infraestrutura. Concluiu-se que as ER representam uma alternativa viável para mitigar os GEEs e combater as mudanças climáticas. No entanto, sua expansão requer políticas públicas, incentivos econômicos e avanços tecnológicos para superar as barreiras existentes e promover uma transição energética sustentável.

**Palavras-chave:** sustentabilidade energética; impacto ambiental; ecoeficiencia; transição energética.

### 1. INTRODUCCIÓN

Estudios recientes han destacado el impacto significativo de las energías renovables (ER) en la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub> (UNITED NATIONS, 2024). En 2017, las ER representaron el 26,5% de la producción mundial de electricidad, con China liderando en capacidad solar y eólica, seguida por la Unión Europea, Estados Unidos y Japón. Para 2030, se proyecta que hasta el 60% del consumo energético en Europa provendrá de ER, reflejando el avance hacia sistemas más sostenibles (MOSTAFA et al., 2022; RODRIGUES et al., 2022).

A nivel global, el crecimiento de la capacidad de las ER es desigual; sin embargo, estima que la capacidad de

generación podría alcanzar los 1 700 GW para el año 2050 (CHAVEZ-ANGEL et al., 2023; CARMONA et al., 2024). En el contexto latinoamericano, Chile se destaca con una capacidad instalada de 6.328 MW de energía solar hasta marzo de 2022, consolidándose como líder regional en energías limpias. Por otro lado, en México, para alcanzar una reducción del 22 % en las emisiones de GEI, es fundamental impulsar la generación de energía mediante hidrógeno verde, producido a partir de fuentes renovables como la solar, eólica e hidroeléctrica. Este vector energético, con huella de carbono nula, contribuye significativamente a la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> (RODRIGUES et al., 2022; CONTRERAS FREGOSO et al., 2023).

Las políticas gubernamentales y la inversión en investigación y desarrollo jugarán un papel clave en el crecimiento de las ER en Brasil, Chile y Colombia hasta 2040 (ZAPATA et al., 2024). No obstante, a pesar del avance en la adopción de energías renovables y de los esfuerzos gubernamentales en investigación y desarrollo, las actividades antropogénicas - como la quema de combustibles fósiles, la deforestación, el uso intensivo de pesticidas y la contaminación de cuerpos de agua con desechos industriales - continúan contribuyendo significativamente al deterioro ambiental. Entre 2021 y 2022, las emisiones de GEI aumentaron un 1,2%, alcanzando 57 400 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que agrava los efectos del cambio climático (EDO et al., 2024; AHMAT et al., 2025). Estas emisiones no solo generan contaminación ambiental, sino que también contribuyen al calentamiento global y afectan la calidad de vida de millones de personas (AHMAD et al., 2024).

Más del 75% de las emisiones de GEI y casi el 90% de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de fuentes de energía tradicionales. Por ello, las ER surgen como una alternativa clave para mitigar el cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Sin embargo, su desarrollo e implementación enfrentan barreras económicas, técnicas y ambientales (ROMERO-PERDOMO et al., 2022; UNITED NATIONS, 2024). En este contexto, el Acuerdo de París, adoptado en la COP21 (2015), busca limitar el calentamiento global por debajo de 2 °C, con el objetivo de reducirlo a 1,5 °C. Para ello, establece la revisión de compromisos climáticos cada cinco años y el financiamiento a países en desarrollo para fortalecer su resiliencia.

Desde su entrada en vigor en 2016, ha sido ratificado por 193 países y la Unión Europea, y su implementación se articula a través de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (CDN). En 2023 se llevó a cabo el primer 'balance mundial para evaluar los avances y reforzar la acción climática (AGGARWAL, 2024; UNITED NATIONS, 2024). Esto ha incrementado la relevancia de las energías renovables, dada su capacidad para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a corto y largo plazo (Tsimisaraka et al., 2023), mejorando la confiabilidad energética y ofreciendo beneficios económicos y ambientales (HERNANDEZ et al., 2024; PAKKIRIAH; SATYANARAYANA, 2024). Entre las fuentes de energía renovable más utilizadas destacan la hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa. La bioenergía sobresale por su capacidad de almacenamiento y su potencial para satisfacer la demanda energética (PAKKIRIAH; SATYANARAYANA, 2024).

Los estudios revisados indican que la literatura actual debe avanzar más allá de la simple recopilación de datos descriptivos y superficiales, subrayando la necesidad de enfoques que aborden directamente las fuentes de emisiones, como los mercados de compensación en el punto de extracción de combustibles fósiles (AGGARWAL, 2024), y modelos predictivos sectoriales que consideren escenarios económicos y energéticos específicos, como el caso de Turquía (OZDEMIR et al., 2024). Además, se observa una carencia significativa en la integración práctica de innovaciones tecnológicas que optimicen la transición energética, como la incorporación de vehículos eléctricos en esquemas domésticos con intercambio energético peer-to-peer (KHANAL et al., 2024), o la aplicación y adaptación de

gemelos digitales a distintos contextos urbanos (ALVA et al., 2024). Estos vacíos sugieren que el artículo podría aumentar su impacto desarrollando análisis comparativos profundos, explorando nuevas teorías y proponiendo soluciones concretas. En la misma línea, la investigación de (MOVSESSIAN et al., 2025) integra los sectores de energía eléctrica, térmica y transporte, pero presenta limitaciones al no abordar otros sectores como la industria, la agricultura y la desalinización.

Abordar estos sectores permitiría obtener una comprensión más integral de sus dinámicas y desafíos específicos, lo que enriquecería el análisis de la sostenibilidad y la gestión de recursos en diversas áreas. Por tanto, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura científica existente sobre el impacto de las energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, con el fin de identificar brechas de conocimiento y proponer líneas de investigación que contribuyan al avance efectivo en la mitigación del cambio climático.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la selección de información se utilizó la metodología PICO, a través de la cual se definieron las palabras clave y las preguntas de investigación (Figura 1), que se usaron para la búsqueda en la base de datos Scopus, Science Direct y Web of Science, utilizando los conectores booleanos "OR" y "AND", una vez identificados los artículos científicos, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, siendo estos: año de publicación, palabras clave, temática, área, acceso, idioma y países, quedándose con un total de 27 artículo, tal como se muestra en el diagrama de PRISMA (Figura 2).

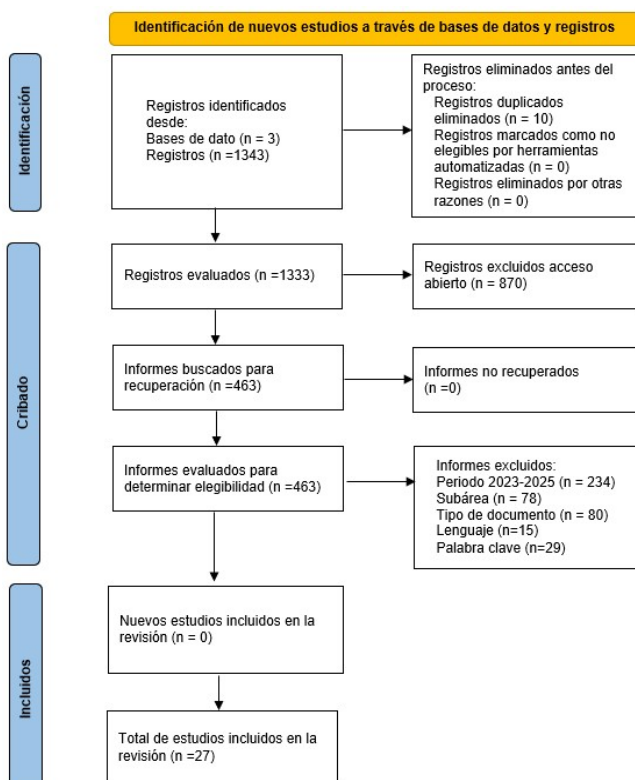


Figura 1. Estructura PICO.

Figura 1. Estructura do PICO.

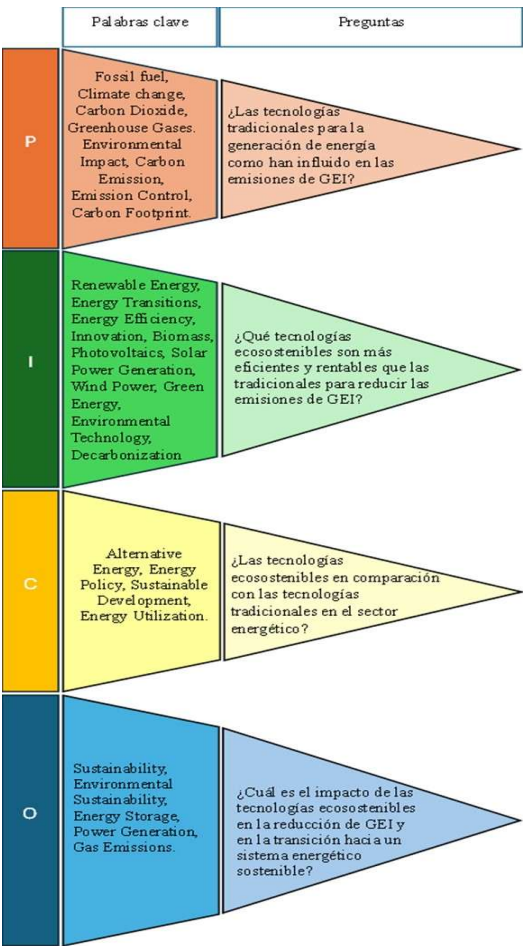


Figura 2. Diagrama PRISMA.  
Figura 2. Diagrama PRISMA.

3. RESULTADOS

3.1. Capacidad energética y aplicación en diferentes sectores de las tecnologías eco-sostenibles

La Tabla 1 abarca una amplia gama de tecnologías de energías renovables, tales como solar fotovoltaico, eólica (tanto terrestre como marina), biomasa, hidroeléctrica, geotérmica y bioenergía, aplicándose a diferentes sectores (eléctrico, agrícola, industrial, residencial y de transporte). A continuación, se destacan los principales resultados obtenidos.

3.2. Tecnologías eco-sostenibles en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

En la Tabla 2 se presenta la contribución de las energías renovables a la reducción de gases de efecto invernadero, detallando las disminuciones de CO<sub>2</sub> según la fuente energética utilizada.

3.3. Transición hacia las tecnologías eco-sostenibles, barreras y soluciones para la producción de energías renovables

Si bien las ER han demostrado ser una solución efectiva para reducir los GEI, la transición hacia su implementación aún enfrenta desafíos significativos. En la Tabla 3, se muestran las barreras y soluciones que diversos autores han identificado.

La Tabla 3 expone las principales barreras para la implementación de ER y las estrategias para superarlas. Para

una mejor comprensión de la magnitud de estos desafíos y las soluciones propuestas, las Figuras 2 y 3 presentan un análisis visual que permite identificar los obstáculos más críticos y las medidas clave para impulsar la transición hacia un modelo energético sostenible (Figura 4).

La Figura 5 ilustra la distribución relativa del impacto de diversas fuentes de energía renovable en ocho áreas estratégicas del sistema energético. El análisis revela que la energía solar y la eólica terrestre presentan una alta versatilidad, con contribuciones significativas en múltiples categorías, lo que refleja su madurez tecnológica y su potencial de integración en distintos sectores. La biomasa, en cambio, muestra una especialización en el ámbito agrícola, mientras que la energía hidráulica y la geotérmica tienen una participación más limitada, posiblemente debido a restricciones geográficas o tecnológicas. La categoría de almacenamiento energético destaca por su diversidad tecnológica, subrayando su papel clave en la gestión de la intermitencia de las fuentes renovables. En conjunto, la figura evidencia la necesidad de una estrategia energética diversificada, en la que cada tecnología renovable se aproveche según sus fortalezas específicas para avanzar hacia un sistema energético más sostenible, resiliente y eficiente.

4. DISCUSIÓN

4.1. Capacidad energética y aplicación en diferentes sectores de las tecnologías eco-sostenibles.

Los resultados permiten evidenciar que las ER comprenden un conjunto diverso de tecnologías aplicables a sectores estratégicos como el eléctrico, agrícola, industrial, residencial y de transporte. Entre ellas, la energía solar fotovoltaica y eólica predominan en capacidad instalada y despliegue global, como en Corea del Sur, que se proyecta una capacidad de 70,5 GW para 2034, distribuida en 64,68% proveniente de energía solar y un 35,32% de eólica (Raihan, 2023). De forma similar, Italia alcanzaría una capacidad de 272,9 GW en 2050, respaldada por sistemas de almacenamiento energético y políticas orientadas a la mitigación de GEI (CARÀ et al., 2024).

La biomasa y la geotermia complementan el portafolio tecnológico mediante aplicaciones en cogeneración eléctrica, calefacción y procesos industriales. En Sudáfrica, se ha proyectado una generación de 150 323,3 MWh/año a partir de residuos de caña de azúcar, representando el 1,4 % de la producción total estimada de ER para 2050 (CHIPFUPA; TAGWI, 2024; MENSAH et al., 2024). La gasificación de biomasa se perfila como una alternativa sostenible, mientras que la producción de biogás, si bien ambientalmente favorable, presenta restricciones en cuanto a viabilidad económica (VARGAS-SOPLÍN et al., 2024). Por otro lado, Finlandia avanza en el despliegue de tecnologías emergentes como electrolizadores (18 GW) y Power-to-X (19 GW), orientadas a la producción de hidrógeno verde y combustibles sintéticos, lo que contribuirá a la estabilización de la red eléctrica y a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles (SATYMOV et al., 2025).

En el caso de China, se prevé para 2025 la instalación de 120 000 estaciones de carga y una flota de 4,8 millones de vehículos eléctricos, con el objetivo de reducir el consumo de hidrocarburos al 4 % para 2060 y alcanzar una participación del 93 % de ER en su matriz energética (ZAHOOOR et al., 2023).

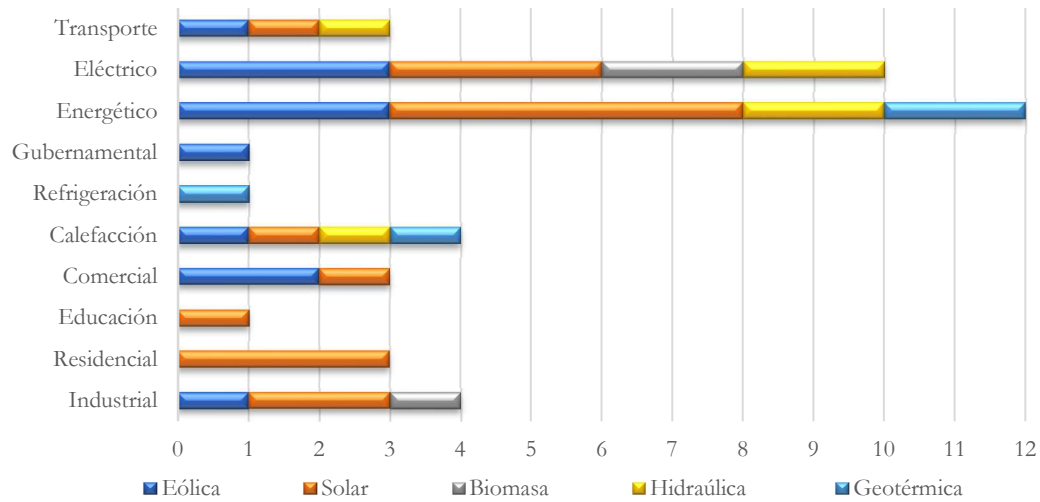


Figura 3. Distribución del número de artículos sobre ER por sector.

Figura 3. Distribuição do número de artigos sobre ER por setor.

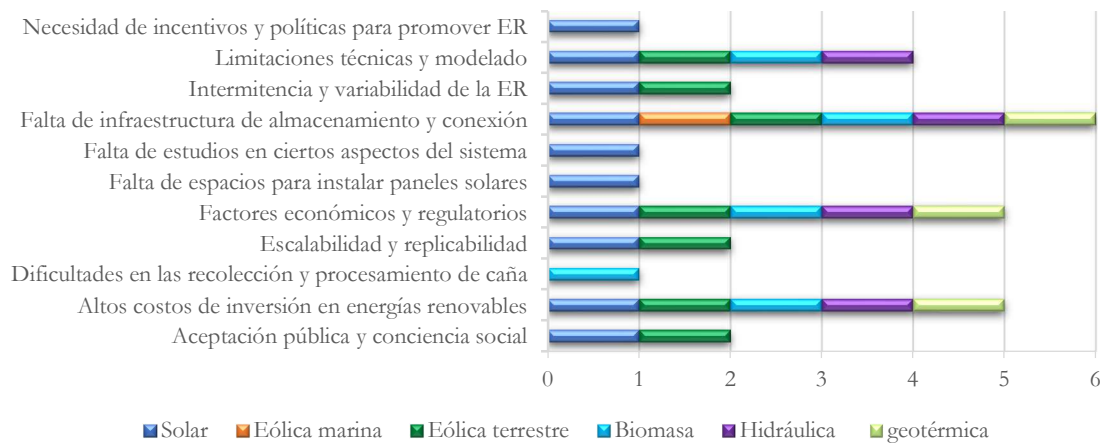


Figura 4. Barreras y desafíos para la adopción según tipo de ER.

Figura 4. Barreiras e desafios à adoção por tipo de ER.

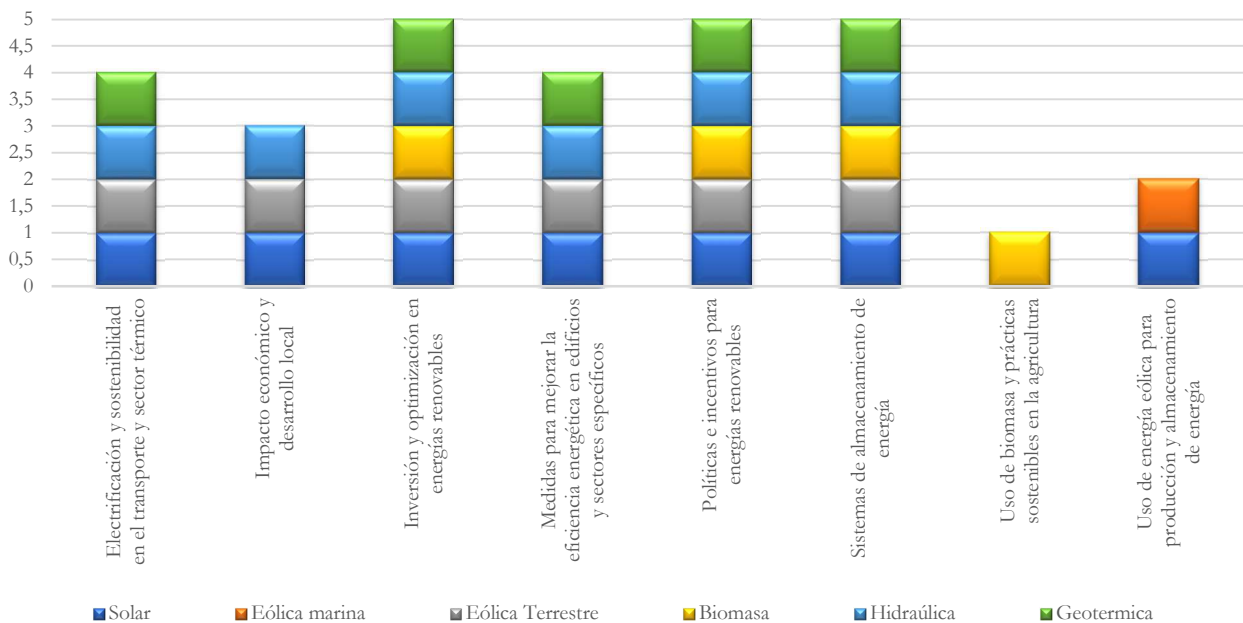


Figura 5. Distribución de soluciones por tipo de energía ER para la mejora de sectores.

Figura 5. Distribuição de soluções por tipo de energia RE para melhoria dos setores.



## Energías renovables y mitigación de gases de efecto invernadero...

Tabla 1. Capacidad energética de las tecnologías desarrolladas para la generación de energías renovables en los diferentes sectores.

Tabela 1. Capacidade energética das tecnologias desenvolvidas para geração de energia renovável nos diferentes setores.

Energía renovable	Sector	Tecnología	Capacidad energética	País	Referencia
Eólica	Comercial y gubernamental.	Turbinas eólicas	40,91 GJ (supera la cantidad demanda 32,13GJ)	Noruega	(BANIHABIB et al., 2024)
Eólica marina	Agrícola Eléctrico	Microturbina de gas	45 070 MWh/a	Rumania	(DUMITRAN et al., 2024)
		Simulaciones y mediciones para generar hidrógeno	725 -1 450 kW	México	(MONROY-MORALES et al., 2024)
Solar	Residencial Urbano Escuelas Minería Eléctrico	Paneles fotovoltaicos	Potencia 12 kW	Australia	(KHANAL et al., 2024)
		Desalinización del agua	5,33 MWh	Italia	(MINELLI et al., 2024)
		Paneles fotovoltaicos	0,06133 MWh/a	España	(ROLDÁN-BLAY et al., 2024)
		Sistemas de refrigeración distrital	3 MWh en verano	Chile	(MARÍN et al., 2024)
		Baterías de almacenamiento	93 646 MWh/a	México	(BECERRA-GONZÁLEZ et al., 2024)
			2 GWp de energía solar fotovoltaica para el 2030	Singapur	(ALVA et al., 2024)
Biomasa	Eléctrico Energético	Co-generación de electricidad	150 323,3 MWh anuales	Sudáfrica	(CHIPFUPA; TAGWI, 2024)
		Conversión de biomasa en energía Biodigestores Digestión anaerobia Gasificación para la producción de gas de síntesis (syngas) Co-combustión	Total de energía disponible: 25 280 MWh.	Alemania	(VARGAS-SOPLÍN et al., 2024)
Geotérmica somera	Calefacción y refrigeración. Climatización en infraestructuras de transporte. Deshielo de carreteras y accesos viales.	intercambio geotérmico somero	El Metro de Turín generó 0,6144 MWh;	- Australia - Italia - Japón	(MAGDY et al., 2025)
			Túnel Lainzer alcanzó 214 MWh		
Eólica Solar	Eléctrico Industrial Comercial Energético Residencial	Paneles Fotovoltaiicos	0,65 - 3 MWh	Portugal	(RAMOS et al., 2024)
		Aerogeneradores	20 kW - 1000 kW		(LAIMON; YUSAF, 2024)
		Baterías avanzadas	272,9 GW de capacidad solar y eólica para 2050.	Italia	(CARÀ et al., 2024)
			45,6 GW de capacidad solar y 24,9 GW de capacidad eólica, para el 2030	Corea del Sur	(RAIHAN, 2023)
			Solar 535 W Eólica 135 W/s		(ANGAMARCA-AVENDAÑO et al., 2024)
Solar	Eléctrico	Plantas solares fotovoltaicas	- 84 MW (solar)	Croacia,	(FALKONI et al., 2024)
Eólica	Transporte	Parques eólicos	- 219 MW (eólica)	(Dubrovnik)	
Hidroeléctrica	Térmico	Planta hidroeléctrica	126 MW (hidroeléctrica)		
Solar	Transporte	Aerogeneradores	Aumentar en 42% para 2030 y en 93% para el 2060	China	(ZAHOOOR et al., 2023)
Eólica		Paneles fotovoltaicos			
Hidroeléctrica		Plantas hidroeléctricas			
Nuclear		Reactores Nucleares			
Eólica	Electricidad	Electrolizadores de 18 GW	100 GW de energías renovables para 2050	Finlandia	(SATYMOV et al., 2025)
Solar	Calefacción	Power-to-X (PtX) de 19 GW			
Bioenergía	Transporte	Point-Source Capture - PSC			
Hidroeléctrica	Industria				
Solar	Eléctrico	Plantas de biomasa	Escenario BAU (Business as Usual): 3 794,6 MWh	Ghana	(KUMI; MAHAMA, 2023)
Eólica		Paneles fotovoltaicos	Escenario con 10% de ER: 247 469,5 GWh		
Biomasa	Hidroeléctrica	Aerogeneradores Plantas hidroeléctricas de embalse	Escenario con 20% de ER: 247 426,35 GWh		
			Escenario con 30% de ER: 246 869,78 GWh		
			- Solar fotovoltaica: 1,246 GW	Toda África	(MENSAH et al., 2024)
			- Turbinas de gas: 213 GW		
			- Hidroeléctrica: 41 GW		
			- Energía eólica: 37 GW		
			- Biomasa: 22 GW		
			- Carbón: 9 GW		
			- Geotermia: 1,40 GW		
			- CSP (concentración solar): 0,20 GW		
1570 GW en total para 2050					
Solar	Industrial	Paneles fotovoltaicos	Sistema solar PV: 1,3 MW, con una generación anual de 1876 MWh	Pakistán	(KAMRAN et al., 2024)
Biomasa		Sistema de biomasa			

Co-firing de biomasa			Sistema de biomasa: sustitución de 898 toneladas de carbón por 1 462 toneladas de biomasa para generar vapor		
Solar Eólica Hidráulica	Energético	Paneles fotovoltaicos Aerogeneradores Plantas hidroeléctricas Plantas geotérmicas	Para 2030, se planea alcanzar 33 000 MW de capacidad instalada en energía solar y 18 000 MW en energía eólica. Un total de 51 000 MW potencia instalada.	Turquía	(OZDEMIR et al., 2024)
Solar Eólica Hidráulica Geotérmica Biomasa	Energética Calefacción Transporte	Paneles fotovoltaicos. Aerogeneradores. Plantas geotérmicas. Plantas hidroeléctricas. A partir de residuos orgánicos	Solar: aumentará de 1,2 GW (2020) a 115-203 GW (2050), con una generación de 3-424 TWh. Geotérmica: Generará 7-168 TWh, pero sin datos claros sobre capacidad instalada Eólica: Representa el 15,6% de la electricidad renovable Hidráulica: Aporta entre 14,2% y 60,1% de la electricidad renovable Biomasa: Contribuye con 0,2% - 21,3% de la electricidad renovable	- Guatemala - Belice - El Salvador - Honduras - Nicaragua - Costa Rica - Panamá	(MOVSESSIAN et al., 2025)

Tabla 2. Contribución de las Energías Renovables a la reducción de los GEI.

Tabela 2. Contribuição das Energias Renováveis para a redução de GEE.

Energías renovables	Reducción GEI	País	Referencia
Eólica	20% de CO <sub>2</sub>  1 157,89 t CO <sub>2</sub> eq/a	Noruega  Rumania	(BANIHABIB et al., 2024) (DUMITRAN et al., 2024)
Solar	86,15%  51%	Chile  Colombia (Antioquia)	(MARÍN et al., 2024) (RESTREPO ROMÁN et al., 2024)
Solar (bombas de calor)	80%	Suiza	(DARDOR et al., 2024)
Biomasa	Cada agricultor que quema puede evitar emitir en promedio 457,7 kg CO <sub>2</sub> eq - Co-combustión: (-) 252 a 144 kt-CO <sub>2</sub> eq - Gasificación: (-) 178 a 127 kt-CO <sub>2</sub> eq - Biogás: (-) 204 a 203 kt-CO <sub>2</sub> eq - Compostaje: no hay (-),	Sudáfrica  Alemania	(CHIPFUPA; TAGWI, 2024)  (VARGAS-SOPLÍN et al., 2024)
Geotérmica somera	- Túnel Länzer reduce 30t-CO <sub>2</sub> , - Jenbach, logró una reducción de CO <sub>2</sub> entre 25 % y 35 %	Australia	(MAGDY et al., 2025)
- Eólica	17,8 %	México	(PROBST, 2024)
- Solar	En condiciones óptimas se reducción hasta el 84 % de CO <sub>2</sub> en verano 87,3 % de reducción de CO <sub>2</sub> , pasando de 79,1 Mt en 2021; 10,1 Mt en 2050 Por cada 1% de incremento en el uso de energías renovables, las GEI, (-) en 0,86% a largo plazo y 0,18% a corto plazo	Portugal Italia Corea del Sur	(RAMOS et al., 2024) (CARÀ et al., 2024) (RAIHAN, 2023)
- Solar	2,6 BMt en 2010 hasta 0,006 BMt en 2060	China	(ZAHOOOR et al., 2023)
- Eólica			
- Hidroeléctrica			
- Eólica	Para 2035 se reduce hasta el 61% comparado al 2020	Finlandia	
- Solar			
- Bioenergía	Para el 2050 se espera cero emisiones		(SATYMOV et al., 2025)
- Hidroeléctrica.			
- Solar	4,99 Mt	Perú	(FIESTAS-CHEVEZ et al., 2024)
- Eólica			
- Biomasa			
- Solar	- E-10%: Se reducen a 46 178,3 ktCO <sub>2</sub> eq en 2030	Ghana	
- Eólica	- E-20%: Se reducen a 41 603,2 ktCO <sub>2</sub> eq		(KUMI; MAHAMA, 2023)
- Biomasa	- E-30%: Bajan a 38 332,6 ktCO <sub>2</sub> eq, logrando una reducción del 27% en comparación con el escenario sin intervención		
- Hidroeléctrica	- BPS-1: 46,5 % en comparación con 2020 - BPS-2: 53,4 % en comparación con 2020	Toda África	(MENSAH et al., 2024)
- Solar	Sistema solar PV: 965,9 tCO <sub>2</sub> /a	Pakistán	
- Biomasa	Sistema de biomasa: 2 784,4 tCO <sub>2</sub> /a Co-firing: 556,9 tCO <sub>2</sub> /a Total combinado (solar + biomasa): 3 751 tCO <sub>2</sub> /a		(KAMRAN et al. (2024)
- Solar	(-) GEI en 21% para 2030	Turquía	
- Eólica			(OZDEMIR et al., 2024)
- Hidráulica			

Tabla 3. Barreras y soluciones para la implementación de las Energías Renovables.

Tabela 3. Barreiras e soluções para a implementação de Energias Renováveis.

Energías renovables	Barreras	Solución	Fuente
Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de espacios para instalar paneles solares</li> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> <li>- Necesidad de incentivos y políticas para promover energías renovables</li> <li>- Falta de estudios en ciertos aspectos del sistema</li> <li>- Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión</li> <li>- Intermittencia y variabilidad de la energía renovable</li> <li>- Limitaciones técnicas y modelado</li> <li>- Escalabilidad y replicabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas para mejorar la eficiencia energética en edificios y sectores específicos</li> <li>- Inversión y optimización en energías renovables</li> <li>- Sistemas de almacenamiento de energía</li> <li>- Uso de energía eólica para producción y almacenamiento de energía</li> <li>- Impacto económico y desarrollo local</li> </ul>	(ALVA et al., 2024) (KHANAL et al., 2024) (MINELLI et al., 2024) (MARÍN et al., 2024) (BECERRA-GONZÁLEZ et al., 2024) (ROLDÁN-BLAY et al., 2024) (BANIHABIB et al., 2024) (DUMITRAN et al., 2024)
Eólica (turbinas eólicas marinas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> <li>- Intermittencia y variabilidad de la energía renovable</li> <li>- Desalinización del agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de energía eólica para producción y almacenamiento de energía</li> </ul>	(MONROY-MORALES et al., 2024)
Geotérmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> <li>- Limitaciones técnicas y modelado</li> <li>- Factores económicos y regulatorios</li> <li>- Escalabilidad y replicabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas para mejorar la eficiencia energética en edificios y sectores específicos</li> </ul>	(MAGDY et al., 2025)
Biomasa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultades en la recolección y procesamiento de residuos de caña</li> <li>- Falta de conocimiento o valoración del potencial de la biomasa</li> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión y optimización en energías renovables</li> <li>- Políticas e incentivos para energías renovables</li> <li>- Uso de biomasa y prácticas sostenibles en la agricultura</li> </ul>	(CHIPFUPA; TAGWI, 2024) (VARGAS-SOPLÍN et al., 2024)
- Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión y optimización en energías renovables</li> <li>- Sistemas de almacenamiento de energía</li> </ul>	(LAIMON; YUSAF, 2024)
- Eólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> <li>- Intermittencia y variabilidad de la energía renovable</li> <li>- Limitaciones técnicas y modelado</li> <li>- Factores económicos y regulatorios</li> <li>- Aceptación pública y conciencia social</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de energía eólica para producción y almacenamiento de energía</li> <li>- Impacto económico y desarrollo local</li> </ul>	(RAMOS et al., 2024) (RAIHAN, 2023) (ROUWS et al., 2024)
- Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión y optimización en energías renovables</li> <li>- Sistemas de almacenamiento de energía</li> </ul>	(FALKONI et al., 2024)
- Eólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitaciones técnicas y modelado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Políticas e incentivos para energías renovables</li> <li>- Uso de energía eólica para producción y almacenamiento de energía</li> <li>- Impacto económico y desarrollo local</li> <li>- Electrificación y sostenibilidad en el transporte y sector térmico</li> </ul>	
- Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión y optimización en energías renovables</li> </ul>	(CARÀ et al., 2024)
- Eólica marina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de almacenamiento de energía</li> </ul>	
- Biomasa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión y optimización en energías renovables</li> </ul>	(MENSAH et al., 2024)
- Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de almacenamiento de energía</li> </ul>	
- Eólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Factores económicos y regulatorios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Políticas e incentivos para energías renovables</li> </ul>	
- Hidroeléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Factores económicos y regulatorios</li> </ul>		
- Eólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión y optimización en energías renovables</li> </ul>	(SATYMOV et al., 2025)
- Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión</li> </ul>		
- Biomasa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intermittencia y variabilidad de la energía renovable</li> </ul>		
- Hidroeléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Factores económicos y regulatorios</li> </ul>		
- Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Políticas e incentivos para energías renovables</li> </ul>	(ZAHOOR et al., 2023)
- Eólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión</li> </ul>		
- Hidroeléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intermittencia y variabilidad de la energía renovable</li> <li>- Factores económicos y regulatorios</li> </ul>		
- Solar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de inversión en energías renovables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas para mejorar la eficiencia energética en edificios y sectores específicos.</li> </ul>	(MOVSESSIAN et al., 2025)
- Eólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión y optimización en energías renovables</li> </ul>	
- Geotermica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Factores económicos y regulatorios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de almacenamiento de energía.</li> </ul>	(OZDEMIR et al., 2024)
- Hidroelectrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intermittencia y variabilidad de la energía renovable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Políticas e incentivos para energías renovables</li> <li>- Electrificación y sostenibilidad en el transporte y sector térmico</li> </ul>	
- Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Factores económicos y regulatorios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión y optimización en energías renovables</li> </ul>	(KUMI; MAHAMA, 2023)
- Eólica		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Políticas e incentivos para energías renovables</li> </ul>	

- Biomasa	- Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión	- Inversión y optimización en energías renovables	(KAMRAN et al., 2024)
- Hidroeléctrica	- Limitaciones técnicas y modelado	- Sistemas de almacenamiento de energía	
- Solar	- Altos costos de inversión en energías renovables.	- Políticas e incentivos para energías renovables	
- Biomasa	- Falta de espacios para instalar paneles solares - Falta de infraestructura de almacenamiento y conexión	- Uso de biomasa y prácticas sostenibles en la agricultura	

En conjunto, estos hallazgos confirman que la integración de fuentes renovables constituye una estrategia global fundamental para la diversificación de la matriz energética y la transición hacia sistemas bajos en carbono. Asimismo, la flexibilidad de estas tecnologías permite su adaptación a contextos territoriales y sectoriales específicos, como la climatización de edificaciones o la generación de hidrógeno verde mediante recursos eólicos y solares, ampliando su potencial de impacto económico y social (LAIMON; YUSAF, 2024).

No obstante, se identifican desigualdades estructurales en cuanto al despliegue de estas tecnologías, observándose una alta concentración geográfica en países con capacidades tecnológicas y económicas avanzadas, lo que limita su implementación en regiones en vías de desarrollo. Adicionalmente, tecnologías como la gasificación de biomasa continúan enfrentando barreras técnicas y económicas que restringen su adopción masiva (VARGAS-SOPLÍN et al., 2024).

#### 4.2. Tecnologías eco-sostenibles en la reducción de emisiones de GEI.

Las tendencias actuales en investigación tecnológica se orientan a optimizar la eficiencia, escalabilidad y almacenamiento de las energías renovables, con énfasis en mitigar la intermitencia y variabilidad propias de fuentes como la solar y la eólica. Estas tecnologías concentran el mayor volumen de investigación debido a su papel estratégico en la generación eléctrica y la descarbonización del sistema energético. Este avance se refleja en la sostenida reducción de costos: en Austria, los sistemas fotovoltaicos pasaron de 4550 USD/kW en 2000 a 650 USD/kW en 2020, mientras que el almacenamiento energético disminuyó de 1430 USD/kWh en 2010 a 203 USD/kWh en el mismo periodo (KHANAL et al., 2024). Por su parte, España, la capacidad instalada solar aumentó un 30 %, impulsada por condiciones climáticas favorables y reformas regulatorias que eliminaron barreras e incentivaron la inversión en fotovoltaica (DASÍ-CRESPO et al., 2023).

Los estudios recientes destacan el desarrollo de baterías avanzadas, sistemas integrados de almacenamiento y esquemas híbridos que incorporan la producción de hidrógeno verde como vector energético clave en sectores de difícil electrificación. También se observa un progreso sostenido en la digitalización de redes eléctricas y en la implementación de tecnologías emergentes como Power-to-X (PtX) y la captura puntual de emisiones, orientadas a incrementar la eficiencia sistémica y reducir pérdidas.

La adopción de energías renovables ha tenido un impacto significativo en la reducción de emisiones de GEI a nivel global y regional. En sistemas híbridos, la energía solar puede alcanzar una contribución del 100 %, la eólica del 90,9 %, y la biomasa e hidroeléctrica del 54 %. En Italia, se proyecta que las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuirán de 79,1 Mt en 2021 a 10,1 Mt en 2050, lo que representa una reducción del 87,3 % (CARÀ et al., 2024). Asimismo, el desarrollo de sistemas

híbridos que combinan fuentes solares, eólicas, de biomasa e hidroeléctricas apunta a lograr la neutralidad en emisiones de GEI para 2050 (SATYMOV et al., 2025). En Antioquia, Colombia, la implementación de un sistema híbrido basado en un recurso solar de 5,4 kWh/m<sup>2</sup> y la infraestructura hidroeléctrica existente permitiría reducir las emisiones en un 51 % hacia 2030 (BATTAGLIA et al., 2025).

De forma similar, en Alemania, estrategias como la co-combustión, gasificación y uso de biogás han contribuido a reducciones significativas en las emisiones (Vargas-Soplín et al., 2024), mientras que en Sudáfrica se han logrado beneficios importantes al evitar la quema de residuos agrícolas (CHIPFUPA; TAGWI, 2024). Estos casos evidencian una correlación positiva entre el aumento en el uso de energías renovables y la reducción de emisiones de GEI. No obstante, países como Corea del Sur han registrado reducciones marginales a largo plazo, lo que subraya la complejidad del proceso y el papel crítico de las renovables en las estrategias integrales de mitigación climática (RAIHAN, 2023). En Ghana, aunque la energía solar predomina en los escenarios de reducción de CO<sub>2</sub>, su impacto en la generación eléctrica sigue siendo limitado (KUMI; MAHAMA, 2023). Por otro lado, la energía geotérmica, aunque menos desarrollada debido a sus altos costos iniciales, requerimientos geológicos específicos y falta de incentivos adecuados, representa un recurso estratégico por su generación continua y estabilidad climática, funcionando como respaldo ideal para sistemas con alta penetración de fuentes intermitentes (MAGDY et al., 2025; MOVSESIAN et al., 2025).

En cuanto a las proyecciones a largo plazo, estas indican que los países líderes en transición energética podrían alcanzar niveles de emisiones cercanos a cero para el año 2050, evidenciando el potencial de las energías renovables para cumplir con los compromisos globales de descarbonización (RAIHAN, 2023). Sin embargo, la consecución de estas metas depende no solo de la expansión de la capacidad instalada, sino también de la implementación coordinada de políticas públicas, infraestructura adecuada y mecanismos de incentivos que aseguren la eficacia y sostenibilidad de los beneficios ambientales (CHIPFUPA; TAGWI, 2024). Por ello, resulta imprescindible interpretar estas proyecciones con prudencia, dado que muchas estimaciones consideran escenarios optimistas de penetración y operación, sin integrar de manera exhaustiva las emisiones indirectas asociadas a la fabricación, instalación y mantenimiento de tecnologías renovables, ni el aumento concomitante en la demanda energética (MARÍN et al., 2024).

#### 4.3 Transición hacia las tecnologías eco-sostenibles, barreras y soluciones para la producción de energías renovables

Aunque las ER representan una alternativa clave para la reducción de GEI en distintos sectores, su implementación enfrenta múltiples barreras a pesar de su crecimiento y



beneficios demostrados (Dardor et al., 2024; Fiestas-Chevez et al., 2024), sin embargo, la adopción de estas tecnologías sigue siendo desigual debido a obstáculos económicos, técnicos y regulatorios que afectan su despliegue uniforme (MARÍN et al., 2024; MONROY-MORALES et al., 2024).

Entre las principales barreras se encuentran los elevados costos iniciales, la insuficiente infraestructura para almacenamiento y conexión, así como la intermitencia energética. Asimismo, las políticas energéticas que continúan favoreciendo a los combustibles fósiles limitan la expansión de las ER (MINELLI et al., 2024; OZDEMIR et al., 2024). Asimismo, a estas dificultades se suman limitaciones técnicas, marcos regulatorios insuficientes y baja aceptación social, que dificultan especialmente la adopción rápida en países en vías de desarrollo. En muchos casos, los subsidios gubernamentales mantienen la ventaja de los combustibles fósiles, lo que retrasa la rentabilidad de las ER y desincentiva la inversión (CASTILLO et al., 2022; RAMOS et al., 2024). En el caso de la energía solar, su desarrollo está condicionado por factores técnicos, económicos y regulatorios, dado que para generar aproximadamente 6 000 MWh/a se requieren cerca de 100 hectáreas, lo cual limita su implementación en zonas urbanas densamente pobladas. Esta restricción ha impulsado la integración de sistemas solares en edificios de consumo casi nulo y en comunidades energéticas renovables (DELAFIELD et al., 2024; MINELLI et al., 2024). En el ámbito residencial, los costos iniciales en sistemas de almacenamiento y las adecuaciones para conexión a la red continúan siendo elevados, aunque el precio de los paneles ha disminuido notablemente. Sin embargo, una vez superadas estas barreras, los hogares pueden reducir significativamente sus costos eléctricos mediante el uso combinado de almacenamiento y la compartición de energía. Un sistema fotovoltaico con capacidad de 12 kW y baterías de 16 kWh puede disminuir el costo eléctrico en un 4,23 % para prosumers y hasta un 8,69 % para consumidores tradicionales (KHANAL et al., 2024).

Para superar estos retos, se proponen estrategias integrales que incluyen incentivos económicos, desarrollo de almacenamiento avanzado y optimización tecnológica. La viabilidad de estas medidas se evidencia en sistemas fotovoltaicos de 1,3 MW que generan 2 422 MWh anuales y presentan periodos de recuperación de inversión de solo 3,4 años (KAMRAN et al., 2024). Las subvenciones, reducción del costo de capital y tarifas de alimentación facilitarán la integración de las ER, permitiendo reducir el costo nivelado de electricidad a 37,1 €/MWh para 2050 y asegurando un acceso energético más asequible. La transición completa hacia un sistema eléctrico renovable para ese año es técnica y económicamente viable, aunque requerirá una inversión superior a 200 mil millones de euros. Se estima una expansión de 1 246 GW en energía solar, 37 GW en eólica y 22 GW en biomasa flexible, junto con un almacenamiento total de 1 092 TWh, lo que reducirá en un 47,1 % la dependencia del almacenamiento mediante baterías (MENSAH et al., 2024).

Como solución a la escasez hídrica en zonas áridas, se propone el uso de aguas no convencionales, especialmente la desalación por ósmosis inversa. Esta tecnología, con un costo nivelado estimado en 4,73 USD/m<sup>3</sup> (incluyendo planta, bombeo, almacenamiento y tuberías), podría operarse exclusivamente con energía renovable, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> de 660,58 a 143,16 ktCO<sub>2</sub>eq anuales y eliminando la dependencia de la red eléctrica nacional (MARÍN et al., 2024). Finalmente, la mejora en la eficiencia

energética y el diseño de políticas específicas para cada contexto geográfico y sectorial son claves para una transición energética exitosa y sostenible. Además, la replicabilidad y escalabilidad de los proyectos deben abordarse mediante modelos técnicos y financieros robustos que reduzcan la incertidumbre para los inversionistas.

## 5. CONCLUSIONES

Este estudio confirma el papel fundamental de las ER en la mitigación de GEI, con reducciones significativas según tecnología y región, como el 86,15 % logrado por la energía solar en Chile y el 20 % por la eólica en Noruega. La biomasa e hidroeléctrica aportan beneficios relevantes en regiones con recursos específicos, como Sudáfrica, con un potencial de 150 323,3 MWh anuales provenientes de residuos de caña de azúcar.

No obstante, estos beneficios son heterogéneos y están concentrados en países con alta capacidad tecnológica y económica, lo que limita su replicabilidad en regiones en desarrollo. Tecnologías emergentes como Power-to-X (19 GW) y electrolizadores (18 GW), que mejoran el almacenamiento y la eficiencia, dependen de marcos regulatorios y políticas públicas todavía insuficientes. Las proyecciones para 2050 sugieren que algunas naciones podrían alcanzar emisiones cercanas a cero; sin embargo, estos escenarios a menudo no consideran las emisiones indirectas vinculadas a la fabricación y mantenimiento de tecnologías, ni el aumento en la demanda energética global. Por ello, la mitigación efectiva requiere una estrategia integrada que combine avances tecnológicos, incentivos económicos, políticas adaptadas y desarrollo de infraestructura.

Este estudio además ofrece un análisis sistemático actualizado que identifica no solo las reducciones de emisiones, sino también barreras y soluciones específicas en distintos contextos regionales y sectoriales. Destaca vacíos en la evaluación integral de emisiones indirectas y la aplicación práctica de tecnologías emergentes, aportando una visión crítica que orienta futuras investigaciones y políticas públicas contextualizadas. Este enfoque multidimensional aporta una síntesis especialmente relevante para países en vías de desarrollo y sectores poco explorados, posicionando la revisión como una contribución actualizada frente a trabajos más generales o fragmentados.

Finalmente, se resalta la necesidad de considerar aspectos técnicos, regulatorios, económicos y sociales para promover una transición energética justa y sostenible.

## 6. REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, R. Carbon offsets compatible with the Paris Agreement to limit global warming: Call for a direct action. **Environmental Challenges**, v. 17, e101034, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101034>
- AHMAD, A.; KHAN, S.; CHHABRA, T.; TARIQ, S.; SUFYAN JAVED, M.; LI, H.; RAZA NAQVI, S.; RAJENDRAN, S.; LUQUE, R.; AHMAD, I. Synergic impact of renewable resources and advanced technologies for green hydrogen production: Trends and perspectives. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 67, p. 788-806, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.06.337>
- AHMAT, N.; CHRISTOPHER, S.; SAPUTRA, J.; SUKEMI, M. N.; NAWAWI, M. N. The Impact of

- Energy consumption, economic growth, and non-renewable energy on carbon dioxide emission in Malaysia. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 15, n. 1, p. 143-152, 2025. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.17350>
- ALVA, P.; MOSTEIRO-ROMERO, M.; MILLER, C.; STOUFFS, R. Mitigating operational greenhouse gas emissions in ageing residential buildings using an Urban Digital Twin dashboard. **Energy and Buildings**, v. 322, e114681, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114681>
- ANGAMARCA-AVENDAÑO, D.-A.; FLORES-VÁZQUEZ, C.; COBOS-TORRES, J.-C. A Photovoltaic and wind-powered electric vehicle with a charge equalizer. **Energies**, v. 17, n. 18, e4665, 2024. <https://doi.org/10.3390/en17184665>
- BANIHABIB, R.; FADNES, F. S.; ASSADI, M. Techno-economic optimization of microgrid operation with integration of renewable energy, hydrogen storage, and micro gas turbine. **Renewable Energy**, v. 237, p. 121708, 1 dez. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121708>
- BATTAGLIA, V.; REHMAN, A. U.; VANOLI, L. Optimizing storage capacity in 100% renewable electricity supply: A GIS-based approach for Italy. **Smart Energy**, v. 18, e100177, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2025.100177>
- BECERRA-GONZÁLEZ, F. J.; VERA-DIMAS, J. G.; CISNEROS-VILLALOBOS, L.; MARTÍNEZ-OROPEZA, A. Solar Energy in buildings: feasibility analysis of integrated and conventional photovoltaic panels. **Energies**, v. 17, n. 24, e6367, 2024. <https://doi.org/10.3390/en17246367>
- CARÀ, C.; MAROCCO, P.; NOVO, R.; KOIVISTO, M.; SANTARELLI, M.; MATTIAZZO, G. Modeling the long-term evolution of the Italian power sector: The role of renewable resources and energy storage facilities. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 59, p. 1183-1195, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.01.358>
- CARMONA, R.; MIRANDA, R.; RODRIGUEZ, P.; GARRIDO, R.; SERAFINI, D.; RODRIGUEZ, A.; MENA, M.; FERNANDEZ GIL, A.; VALDES, J.; MASIP, Y. Assessment of the green hydrogen value chain in cases of the local industry in Chile applying an optimization model. **Energy**, v. 300, e131630, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131630>
- CASTILLO, C. S. M.; RIVERA, M. A. C.; GONZALEZ, Y. D. P. Energías renovables como modelo sostenible en el comercio internacional. **Visión Internacional**, p. 23-40, 2022. <https://doi.org/10.22463/27111121.3334>
- CHAVEZ-ANGEL, E.; CASTRO-ALVAREZ, A.; SAPUNAR, N.; HENRÍQUEZ, F.; SAAVEDRA, J.; RODRÍGUEZ, S.; CORNEJO, I.; MAXWELL, L. Exploring the Potential of green hydrogen production and application in the Antofagasta Region of Chile. **Energies**, v. 16, n. 11, e4509, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16114509>
- CHIPFUPA, U.; TAGWI, A. Greenhouse gas emission implications of small-scale sugarcane farmers' trash management practices: A case for bioenergy production in South Africa. **Energy Nexus**, v. 15, e100308, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100308>
- CONTRERAS FREGOSO, J. A.; TREMARI ROMERO, F.; CARBONELL PELÁEZ, M.; GIAROLA, S.; GARCÍA Kerdan, I. Modelling large-scale hydrogen uptake in the Mexican refinery and power sectors. **Energy Reports**, v. 9, p. 48-53, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.145>
- DARDOR, D.; FLÓREZ-ORREGO, D.; TERRIER, C.; RIBEIRO DOMINGOS, M. E.; PLATTEAU, C.; SILVA, J. C. DA; LOPEZ, M.; MARÉCHAL, F. ROSMOSE: A web-based decision support tool for the design and optimization of industrial and urban energy systems. **Energy**, v. 304, e132182, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132182>
- DASÍ-CRESPO, D.; ROLDÁN-BLAY, C.; ESCRIVÁ-ESCRIVÁ, G.; ROLDÁN-PORTA, C. Evaluation of the Spanish regulation on self-consumption photovoltaic installations. A case study based on a rural municipality in Spain. **Renewable Energy**, v. 204, p. 788-802, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.055>
- DELAFIELD, G.; SMITH, G. S.; DAY, B.; HOLLAND, R. A.; DONNISON, C.; HASTINGS, A.; TAYLOR, G.; OWEN, N.; LOVETT, A. Spatial context matters: Assessing how future renewable energy pathways will impact nature and society. **Renewable Energy**, v. 220, e119385, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119385>
- DUMITRAN, G. E.; VUTA, L. I.; NEGRUSA, E.; BIRDICI, A.-C. Reducing greenhouse gas emissions in Romanian agriculture using renewable energy sources. **Journal of Cleaner Production**, v. 467, e142918, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142918>
- EDO, G. I.; ITOJE-AKPOKINIOVO, L. O.; OBASOHAN, P.; IKPEKORO, V. O.; SAMUEL, P. O.; JIKAH, A. N.; NOSU, L. C.; EKOKOTU, H. A.; UGBUNE, U.; OGHOROR, E. E. A.; EMAKPOR, O. L.; AINYANBHOR, I. E.; MOHAMMED, W. A.-S.; OKPOGHELIE, P. O.; OWHERUO, J. O.; AGBO, J. J. Impact of environmental pollution from human activities on water, air quality and climate change. **Ecological Frontiers**, v. 44, n. 5, p. 874-889, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2024.02.014>
- FALKONI, A.; KRAJAČIĆ, G.; M MIMICA, MARKO. Model of a 100 % renewable energy system of self-sufficient wider urban area based on a short-term scale and the integration of the transport and thermal sector. **Energy**, v. 305, e132314, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132314>
- FIESTAS-CHEVEZ, H.; ROLDAN-FERNANDEZ, J. M.; TRIGO-GARCIA, A. L.; BURGOS-PAYAN, M. Impact of renewables on the Peruvian electricity system. **Journal of Cleaner Production**, v. 471, e143389, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143389>
- HERNANDEZ, H. G.; NOVOA, D. J.; ÁLVAREZ, J. E. T. New trends in green projects aimed at clean energy: an analysis of the scientific literature. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 14, n. 6, p. 278-286, 2024. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.17341>
- KAMRAN, M.; SAJID, J.; SAJID, M. N.; AHMAD, M. M.; ISMAIL, M. A.; SAJID, M. B. Energy efficiency and greenhouse gas emission reduction potential of solar PV and biomass-based systems for a food processing plant. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 60, e104674, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104674>

- KHANAL, S.; KHEZRI, R.; MAHMOUDI, A.; KAHOURZADEH, S.; AKI, H. Effects of electric vehicles on energy sharing for optimal sizing of solar PV and battery energy storage. **Renewable Energy**, v. 237, e121862, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121862>
- KUMI, E. N.; MAHAMA, M. Greenhouse gas (GHG) emissions reduction in the electricity sector: Implications of increasing renewable energy penetration in Ghana's electricity generation mix. **Scientific African**, v. 21, e01843, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01843>
- LAIMON, M.; YUSAF, T. Towards energy freedom: Exploring sustainable solutions for energy independence and self-sufficiency using integrated renewable energy-driven hydrogen system. **Renewable Energy**, v. 222, e119948, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.119948>
- MAGDY, A.; OGUNLEYE, O.; MROUEH, H.; DI DONNA, A.; SINGH, R. M. A review of exploiting shallow geothermal energy through tunnels: Current status and future prospects. **Renewable Energy**, v. 238, e121958, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121958>
- MARÍN, O. A.; KRASLAWSKI, A.; CISTERNAS, L. A. Design for sustainability: An integrated pumped hydro reverse osmosis system to supply water and energy for mining operations. **Energy Conversion and Management**, v. 322, e119159, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119159>
- MENSAH, T. N. O.; OYEWO, A. S.; BOGDANOV, D.; AGHAHOSSEINI, A.; BREYER, C. Pathway for a fully renewable power sector of Africa by 2050: Emphasising on flexible generation from biomass. **Renewable Energy**, v. 234, e121198, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121198>
- MINELLI, F.; CIRIELLO, I.; MINICHIELLO, F.; D'AGOSTINO, D. From Net Zero Energy Buildings to an energy sharing model - The role of NZEBs in Renewable Energy Communities. **Renewable Energy**, v. 223, e120110, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120110>
- MONROY-MORALES, J. L.; PEÑA-ALZOLA, R.; CAMPOS-GAONA, D.; ANAYA-LARA, O. Control Structures for Combined H<sub>2</sub>/Electricity from Offshore Wind Turbines. **Energies**, v. 17, n. 21, e5353, 2024. <https://doi.org/10.3390/en17215353>
- MOSTAFA, M.; ANTONICELLI, C.; VARELA, C.; BARLETTA, D.; ZONDERVAN, E. Capturing CO<sub>2</sub> from the atmosphere: Design and analysis of a large-scale DAC facility. **Carbon Capture Science and Technology**, v. 4, e100060, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2022.100060>
- MOVSESSIAN, M. M.; OYEWO, A. S.; AGHAHOSSEINI, A.; BREYER, C. Enabling Central America's energy transition through renewable energy, energy citizenship, and regional integration. **Applied Energy**, v. 377, e124493, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124493>
- OZDEMIR, M.; PEHLIVAN, S.; MELIKOGLU, M. Estimation of greenhouse gas emissions using linear and logarithmic models: A scenario-based approach for Türkiye's 2030 vision. **Energy Nexus**, v. 13, e100264, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100264>
- PAKKIRIAIAH, C.; SATYANARAYANA, R. Design and FPGA realization of energy efficient reversible full adder for digital computing applications. **Journal of VLSI Circuits and Systems**, v. 6, n. 1, p. 7-18, 2024. <https://doi.org/10.31838/jvcs/06.01.02>
- PROBST, O. Clean Energy and Carbon Emissions in Mexico's Electric Power Sector: Past Performance and Current Trend. **Energies**, v. 17, n. 23, e5859, 2024. <https://doi.org/10.3390/en17235859>
- RAIHAN, A. Nexus between greenhouse gas emissions and its determinants: The role of renewable energy and technological innovations towards green development in South Korea. **Innovation and Green Development**, v. 2, n. 3, e100066, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100066>
- RAMOS, H. M.; SINTONG, J. E.; KURIQI, A. Optimal integration of hybrid pumped storage hydropower toward energy transition. **Renewable Energy**, v. 221, e119732, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119732>
- RESTREPO ROMÁN, A.; VILLEGAS, D. J.; RODRIGUEZ, C.; COGOLLO, A.; BEDOYA, I. D.; AMELL-ARRIETA, A. A. Implementation of a hierarchical cluster model to analyze wind and solar availability in the department of Antioquia, Colombia. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 10, e101006, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.101006>
- RODRIGUES, A.; ARAGÃO, D.; RIVAS, F.; LIMA, S. Renewable energy for a green future: Electricity produced from efficient luminescent solar concentrators. **Solar energy advances**, v. 2, e100013, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.seja.2022.100013>
- ROLDÁN-BLAY, C.; ABAD-RODRÍGUEZ, M. F.; ABAD-GINER, V.; SERRANO-GUERRERO, X. Interval-based solar photovoltaic energy predictions: A single-parameter approach with direct radiation focus. **Renewable Energy**, v. 230, e120821, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120821>
- ROMERO-PERDOMO, F.; CARVAJALINO-UMAÑA, J. D.; MORENO-GALLEGO, J. L.; ARDILA, N.; GONZÁLEZ-CURBELO, M. Á. Research trends on climate change and circular economy from a knowledge mapping perspective. **Sustainability**, v. 14, n. 1, e521, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14010521>
- ROUWS, A. L.; LOONEN, R. C. G. M.; HENSEN, J. L. M. The role of the electricity grid in operation-induced greenhouse gas emissions by a residential building: A multi-year retrospective simulation study. **Energy and Buildings**, v. 324, e114870, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114870>
- SATYMOV, R.; BOGDANOV, D.; GALIMOVA, T.; BREYER, C. Energy and industry transition to carbon-neutrality in Nordic conditions via local renewable sources, electrification, sector coupling, and power-to-X. **Energy**, v. 319, e134888, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134888>
- TSIMISARAKA, R. S. M.; XIANG, L.; ANDRIANARIVO, A. R. N. A.; JOSOA, E. Z.; KHAN, N.; HANIF, M. S.; KHURSHID, A.; LIMONGI, R. Impact of Financial inclusion, globalization, renewable energy, ICT, and economic growth on CO<sub>2</sub> emission in OBOR Countries. **Sustainability**, v. 15, n. 8, e534, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15086534>

- UNITED NATIONS. **Energías renovables: energías para un futuro más seguro.** Disponible en: <<https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>>. Acceso en: 30 jan. 2025.
- VARGAS-SOPLÍN, A. DE J.; MEYER-AURICH, A.; PROCHNOW, A.; KREIDENWEIS, U. Alternative uses for urban autumn tree leaves: A case study in profitability and greenhouse gas emissions for the city of Berlin. **Journal of Cleaner Production**, v. 470, e 143290, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143290>
- ZAHOOOR, A.; MEHR, F.; MAO, G.; YU, Y.; SÁPI, A. The carbon neutrality feasibility of worldwide and in China's transportation sector by E-car and renewable energy sources before 2060. **Journal of Energy Storage**, v. 61, e106696, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106696>
- ZAPATA, S.; URIONA-MALDONADO, M.; HERRERA, M. M. The role of renewable energy policy and r&d in renewables diffusion. **Electricity**, v. 5, n. 3, p. 526-545, 2024. <https://doi.org/10.3390/electricity5030026>

**Agradecimientos:** Agradecemos a la Universidad Tecnológica del Perú por habernos permitido desarrollar el presente Trabajo de investigación.

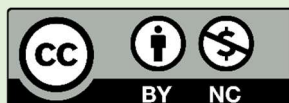
**Contribuciones de los autores:**

S.A.C.V. - redacción, recolección y análisis de datos, diagramación y revisión final; A.M.V.C. - redacción, recolección y análisis de datos, diagramación y revisión final; F.W.T.C. - redacción, recolección y análisis de datos, diagramación y revisión final. Todos los autores leyeron el artículo en su versión final y aprobaron su publicación.

**Financiación:** Universidad Tecnológica del Perú.

**Disponibilidad de los datos:** Los datos para esta investigación pueden obtenerse mediante solicitud al autor correspondiente vía correo electrónico.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Derechos de autor: © 2024 de los autores. Este artículo es de acceso abierto y se distribuye bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial (CC BY-NC) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).