

# *Effectiveness of renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: a global systematic review*

Luis Ángel Vignolo Farfán 

Universidad Tecnológica del Perú, Piura, Perú, <sup>1</sup>E-mail: c25129@utp.edu.pe

**Abstract-** *This study presents a global systematic review on the effectiveness of renewable energy in reducing greenhouse gas (GHG) emissions, analyzing 39 empirical studies published between 2015 and 2025. Through searches in databases such as Scopus, Web of Science, ScienceDirect, IEEE Xplore, and Google Scholar, relevant studies were identified according to rigorous inclusion and exclusion criteria. The findings confirm that the energy sector remains the largest emitter of GHGs, primarily due to the use of thermal sources and the exploitation of hydrocarbons. However, renewable technologies such as solar, wind, and hydropower have shown high effectiveness in mitigating emissions, especially when integrated with solutions such as Carbon Capture and Storage (CCS). The study highlights key technical challenges, such as intermittency and the integration of these sources into electricity grids. Furthermore, it underscores the importance of public policies—such as carbon taxes and incentives for clean energy—to accelerate the transition to a sustainable, low-carbon energy model. This review provides empirical evidence to the global debate on the strategic role of renewable energy in addressing climate change.*

**Keywords:** *Renewable energy, Efficiency, Emission reduction, Greenhouse gases, Systematic review.*

# *Eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: una revisión sistemática global*

Luis Ángel Vignolo Farfán 

Universidad Tecnológica del Perú, Piura, Perú, <sup>1</sup>E-mail: c25129@utp.edu.pe

**Resumen-** Este estudio presenta una revisión sistemática global sobre la eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), analizando 39 investigaciones empíricas publicadas entre 2015 y 2025. A través de búsquedas en bases como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, IEEE Xplore y Google Académico, se identificaron estudios relevantes conforme a criterios rigurosos de inclusión y exclusión. Los hallazgos confirman que el sector energético sigue siendo el mayor emisor de GEI, principalmente por el uso de fuentes térmicas y la explotación de hidrocarburos. No obstante, tecnologías renovables como la solar, eólica e hidroeléctrica han mostrado alta eficacia en la mitigación de emisiones, especialmente al integrarse con soluciones como la Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC). El estudio destaca desafíos técnicos clave, como la intermitencia y la integración de estas fuentes en las redes eléctricas. Además, subraya la importancia de políticas públicas como impuestos al carbono e incentivos a energías limpias para acelerar la transición hacia un modelo energético sostenible y bajo en carbono. Esta revisión aporta evidencia empírica al debate global sobre el rol estratégico de las energías renovables frente al cambio climático.

**Palabras clave:** Energías renovables, Eficacia, Reducción de emisiones, Gases de efecto invernadero, Revisión sistemática.

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los desafíos ambientales más críticos del siglo XXI, siendo el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) uno de los principales motores de este fenómeno [1]. El sector energético, responsable de gran parte de estas emisiones, depende en gran medida de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, que liberan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros GEI a la atmósfera [2]. Ante esta problemática, la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles

se ha convertido en una prioridad global para mitigar los efectos adversos del calentamiento global.

Las energías renovables, tales como la solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa, han emergido como alternativas viables para reducir las emisiones de GEI y promover un desarrollo energético sostenible [3]. Numerosos estudios empíricos han evaluado el impacto de estas tecnologías en la reducción de emisiones, reportando resultados que varían según la región, la tecnología utilizada y el marco regulatorio [4]. Sin embargo, a pesar del creciente interés y la expansión de las energías renovables, aún es necesario consolidar la evidencia científica sobre su eficacia comparativa frente a los sistemas basados en combustibles fósiles.

Por ello, resulta fundamental realizar una revisión sistemática global que sintetice los hallazgos recientes sobre el papel de las energías renovables en la disminución de las emisiones de GEI, tomando en cuenta la variabilidad geográfica y económica, así como los avances tecnológicos y políticos registrados en la última década [5]. Esta revisión permitirá identificar patrones, brechas de conocimiento y oportunidades para fortalecer políticas y estrategias que impulsen la descarbonización del sector energético a nivel mundial.

La urgencia de combatir el cambio climático ha impulsado una intensa búsqueda de soluciones energéticas que permitan reducir las emisiones contaminantes sin comprometer el desarrollo económico y social [6]. Las energías renovables representan un componente clave en este esfuerzo, ya que ofrecen una fuente de energía limpia y potencialmente ilimitada. Sin embargo, la implementación efectiva de estas tecnologías depende de una comprensión clara y actualizada sobre su capacidad real para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en comparación con las fuentes convencionales de energía fósil [7].

La revisión sistemática que se propone responde a la necesidad de consolidar la evidencia empírica producida en los últimos

años (2015-2025), periodo en el que se han producido importantes avances tecnológicos y cambios en políticas energéticas en múltiples países [8]. Esto permitirá a tomadores de decisión, investigadores y actores del sector energético contar con una base sólida para orientar inversiones, diseñar políticas públicas y promover iniciativas que potencien el uso de energías renovables en diferentes contextos económicos y geográficos.

Además, la revisión contribuirá a identificar las variables contextuales que influyen en la eficacia de estas tecnologías, tales como el nivel de desarrollo económico, las condiciones climáticas y las infraestructuras disponibles, aspectos clave para una transición energética justa y eficiente [9]. En suma, este estudio aporta valor científico y práctico, al ofrecer una visión integral y actualizada que facilite la descarbonización global mediante la promoción de energías renovables.

En el presente trabajo de investigación nos hacemos la siguiente pregunta: ¿Cuál ha sido la eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los sistemas basados en combustibles fósiles, según estudios empíricos publicados entre 2015 y 2025? Y como consecuencia de esta pregunta nos planteamos el siguiente objetivo general: Evaluar la eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, mediante una revisión sistemática de estudios empíricos publicados entre 2015 y 2025, complementado con cinco (05) objetivos específicos los mismos que se enumeran a continuación:

1. Analizar el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el sector energético en el cambio climático durante la última década.
2. Examinar los efectos de las tecnologías de energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
3. Comparar las emisiones de gases de efecto invernadero entre sistemas energéticos basados en energías renovables y aquellos que utilizan combustibles fósiles.
4. Determinar los niveles de reducción de gases de efecto invernadero logrados mediante la implementación de energías renovables.
5. Evaluar cómo varía la eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones según el país, región o contexto económico entre 2015 y 2025.

Cabe mención que los objetivos específicos están directamente vinculados a las sub preguntas obtenidas a través del método PICOC, con la finalidad de obtener la respuesta al problema de manera precisa.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1 Metodología PICOC

La metodología PICOC es una herramienta estructurada que permite formular preguntas de investigación de forma precisa y enfocada, especialmente útil en revisiones sistemáticas y estudios clínicos. La sigla representa los elementos: Población, Intervención, Comparación, Resultados y Contexto.

**P (Población):** se refiere al grupo de individuos con características comunes sobre el cual se desea obtener información.

**I (Intervención):** alude a la acción, tratamiento o exposición que se quiere evaluar.

**C (Comparación):** incluye el grupo control o la alternativa frente a la intervención.

**O (Resultados):** abarca los efectos o desenlaces que se pretenden medir.

**C (Contexto):** delimita el entorno físico, social o institucional en que ocurre la intervención.

TABLA I  
FORMULACIÓN CON EL MÉTODO PICOC

Símbolo	Elemento	Descripción
P	Población /Problema	Países o regiones que han implementado energías renovables.
I	Intervención	Implementación y uso de energías renovables (solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, biomasa).
C	Comparación	Regiones que no han implementado energías renovables o que usan mayoritariamente combustibles fósiles.
O	Resultados	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, etc.).
C	Contexto	Estudios publicados en los últimos 10 años (2015–2025), a nivel regional o global, publicados en revistas revisadas por pares.

#### 2.1.1 Pregunta de investigación PICOC:

¿Cuál ha sido la eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los sistemas basados en combustibles fósiles, según estudios empíricos publicados entre 2015 y 2025?

El uso de PICOC favorece la claridad en la construcción de la pregunta de investigación y permite una identificación más efectiva de los estudios relevantes al definir criterios de inclusión y exclusión con mayor precisión (Actas Urológicas Españolas, 2018) [10].

A partir de la pregunta de investigación se obtuvieron subpreguntas de cada componente, las cuales se muestran en la tabla II:

TABLA II SUB PREGUNTAS CON EL METODO PICOC		
Símbolo	Elemento	Descripción
P	Población/Problema	¿Cuál ha sido el <b>impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el sector energético</b> en el cambio climático durante la última década?
I	Intervención	¿Qué efectos han tenido las tecnologías de energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero?
C	Comparación	¿Cómo se comparan las emisiones de gases de efecto invernadero entre sistemas energéticos basados en energías renovables y aquellos que utilizan combustibles fósiles?
O	Resultados	¿Qué niveles de reducción de gases de efecto invernadero se han logrado mediante la implementación de energías renovables?
C	Contexto	¿Cómo ha variado la eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones según el país, región o contexto económico entre 2015 y 2025?

2.2 Metodología PRISMA

La metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) constituye un estándar internacionalmente reconocido para la elaboración de revisiones sistemáticas y metaanálisis. Esta guía incluye un conjunto de 27 elementos distribuidos en secciones fundamentales del informe (título, resumen, introducción, métodos, resultados, discusión y financiamiento), además de un diagrama de flujo que facilita la selección de estudios.

La versión más actual, PRISMA 2020, incorpora actualizaciones que reflejan los avances en las metodologías de síntesis de evidencia, mejorando la presentación de los resultados y promoviendo una mayor transparencia y reproducibilidad en las revisiones (Page et al., 2021) [11]. Asimismo, esta versión busca fortalecer la precisión en la documentación de las estrategias de búsqueda bibliográfica, los criterios de inclusión y exclusión, y la evaluación del riesgo de sesgo (Revista Panamericana de Salud Pública, 2022) [12] [13].

2.2.1 Estrategias PRISMA

- Bases de datos consultadas.

- Criterios de inclusión y exclusión.
- **Palabras clave utilizadas.**
- **Proceso de selección de estudios (diagrama PRISMA).**
- **Número total de artículos revisados.**

2.2.1.1 Bases de Datos

Se utilizaron las siguientes bases de datos: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, IEEE Xplore y Google Académico.

2.2.1.2 Criterios de inclusión y exclusión:

TABLA III CRITERIOS DE INCLUSIÓN	
Nº	Criterio
CI-1	Estudios que traten el tema de los <b>impacto de las emisiones de los gases de efecto invernadero generadas por el sector energético.</b>
CI-2	Estudios que se centren específicamente en los efectos que han tenido las tecnologías de energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
CI-3	Estudios que aborden las comparaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero entre sistemas energéticos basados en energías renovables y aquellos que utilizan combustibles fósiles.
CI-4	Estudios que traten el tema de los niveles de reducción de gases de efecto invernadero que se han logrado mediante la implementación de energías renovables.
CI-5	Estudios que aborden las variaciones de la eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones según el país, región o contexto económico entre 2015 y 2025.

TABLA IV CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	
Nº	Criterios
CE-1	Estudios publicados fuera del rango temporal definido (2015-2025)
CE-2	Estudios en idiomas que no correspondan al español o inglés
CE-3	Artículos cuyo texto completo se encuentre restringido
CE-4	Estudios que no correspondan a artículos de investigación.
CE-5	Estudios que estén en proceso o que no estén publicados en su forma final.

**Detalles de claridad sobre los criterios de inclusión de trabajos con criterio temporal 2015 al 2025.**

Para asegurar que los resultados reflejen tecnologías, políticas y contextos socioeconómicos relevantes al presente y permitan recomendaciones actuales, se estableció como criterio

temporal de inclusión de literatura el periodo 2015 2025 (inclusive). Este periodo guarda **relación con el** establecimiento del Acuerdo de París en 2015 y contiene los avances tecnológicos, las reducciones de costos y las políticas de mitigación más recientes. Se incluyeron solo estudios que cuantifican el impacto de energías renovables sobre emisiones de gases de efecto invernadero, con metodologías robustas (datos empíricos, modelado moderno, controles apropiados) y publicados en fuentes revisadas por pares. Se excluyeron estudios anteriores a 2015 salvo que se utilicen como contexto histórico, trabajos sin cuantificación de emisiones relevantes o con metodologías poco transparentes. [39] [40] [41] y [42]

2.2.1.3 Palabras claves:

TABLA V  
PALAABRAS CLAVES

En español	In English
Energías renovables	Renewable energy
Eficacia	Effectiveness
Reducción de emisiones	Emission reduction
Gases de efecto invernadero	Greenhouse gases
Revisión sistemática	Systematic review

2.2.1.4 Procedimiento de selección de estudios atreves de fórmulas de búsqueda:

PgsqI Copiar Editar ("renewable energy" OR "solar energy" OR "wind power" OR "hydropower") AND ("greenhouse gas emissions" OR "CO2 emissions") AND ("effectiveness" OR "impact") AND ("2015"[Date - Publication]: "2025"[Date - Publication])

PgsqI Copiar Editar ("energía renovable" O "energía solar" O "energía eólica" O "energía hidroeléctrica") Y ("emisiones de gases de efecto invernadero" O "emisiones de CO2") Y ("eficacia" O "impacto") Y ("2015"[Fecha de publicación]: "2025"[Fecha de publicación])

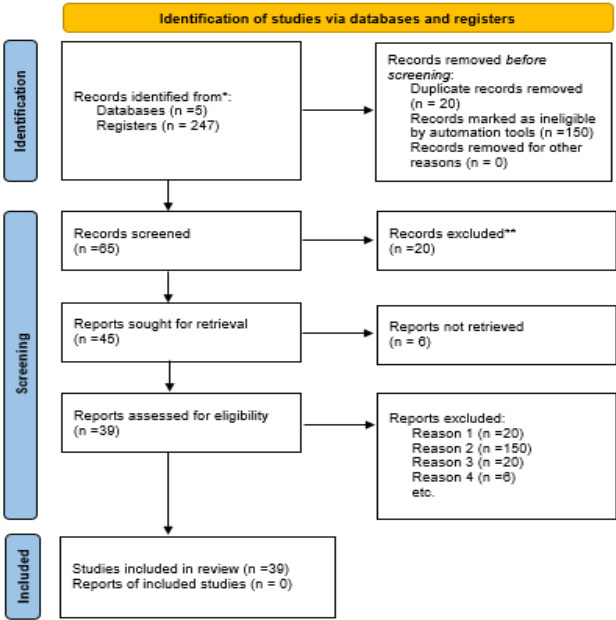


Fig. 1 Diagrama PRISMA

III. RESULTADOS

3.1 Resultados del objetivo específico 1: Analizar el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el sector energético en el cambio climático durante la última década

En los últimos diez años, el sector energético ha sido uno de los principales contribuyentes al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), intensificando así el cambio climático. Las actividades vinculadas a la generación de electricidad, la explotación de combustibles fósiles y la distribución de energía han desempeñado un papel significativo en este proceso.

En el contexto peruano, por ejemplo, se ha identificado que la planificación energética del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional ha influido considerablemente en las emisiones de GEI. Aunque se han logrado ciertos avances en eficiencia, persiste una fuerte dependencia de fuentes térmicas basadas en combustibles fósiles, lo que ha elevado los niveles de dióxido de carbono liberados a la atmósfera [14].

A nivel internacional, se ha detectado la presencia de emisores ultra intensivos de metano dentro del sector de petróleo y gas. Estos “ultra emisores” representan una proporción desproporcionada de las emisiones totales, evidenciando deficiencias importantes en los sistemas actuales de control de emisiones [15]. La existencia de estas fuentes altamente contaminantes acelera el calentamiento global, dado que el

metano posee un potencial de calentamiento global considerablemente mayor que el del CO<sub>2</sub> en el corto plazo.

No obstante, estudios recientes también destacan que la adopción temprana de energías renovables en los sistemas eléctricos europeos ha contribuido no solo a la reducción de emisiones, sino que además ha demostrado ser económicamente sostenible a largo plazo [18].

**Los principales subsectores del sector energético responsables de la generación de GEI son los siguientes:**

- Generación eléctrica a partir de combustibles fósiles: Este subsector emite grandes volúmenes de CO<sub>2</sub> debido al uso de carbón, petróleo y gas natural [14].
- Extracción y procesamiento de petróleo y gas natural: Se caracteriza por la liberación de metano, producto de fugas y ventilaciones durante las etapas de producción y transporte [15].
- Transporte y distribución de energía: Las pérdidas energéticas durante el transporte y el uso de tecnologías ineficientes generan emisiones indirectas.
- Consumo energético en sectores industriales y residenciales: Aunque no forman parte directa del sector energético, su impacto depende del tipo de energía que consumen.

### **3.2 Resultados del objetivo específico 2: Examinar los efectos de las tecnologías de energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero**

Diversas investigaciones han evidenciado que la adopción de tecnologías de energías renovables tiene un impacto significativo en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En el caso de México, por ejemplo, el uso de fuentes como la solar y la eólica ha contribuido directamente a la reducción de emisiones en el sector energético, al reemplazar combustibles fósiles por fuentes limpias [23]. Tanto en países de ingresos bajos como altos, se ha observado una relación inversa entre el aumento del consumo de energía renovable y los niveles de GEI, siendo más pronunciado el efecto en países de altos ingresos debido a su mayor capacidad tecnológica e infraestructura [24].

En Europa, la conversión de residuos en energía renovable ha resultado ser una estrategia eficaz para disminuir emisiones, especialmente en sectores históricamente contaminantes [22]. Asimismo, en Brasil, la expansión de una matriz energética basada en fuentes renovables ha sido fundamental para avanzar hacia los compromisos establecidos en el Acuerdo de París [21]. Estas evidencias subrayan el papel esencial de las

tecnologías limpias en la transición hacia sistemas energéticos sostenibles y con menor impacto climático.

**Se identificaron las siguientes tecnologías y mecanismos que contribuyen a la reducción de emisiones de GEI:**

**Sustitución de combustibles fósiles:** La implementación de energías renovables disminuye la dependencia de fuentes altamente contaminantes como el carbón y el petróleo [21], [23].

**Reducción directa de emisiones:** Existe una correlación negativa entre el consumo de energías renovables y la emisión de GEI en diversos contextos socioeconómicos [24].

**Aprovechamiento de residuos:** Tecnologías aplicadas al tratamiento de residuos en países europeos han demostrado ser eficaces en la reducción de emisiones del sector [22].

**Cumplimiento de metas climáticas:** Las energías renovables son herramientas clave para alcanzar la neutralidad de carbono, especialmente cuando se combinan con políticas fiscales como los impuestos al carbono [17], [19].

### **3.3 Resultados del objetivo específico 3: Comparar las emisiones de gases de efecto invernadero entre sistemas energéticos basados en energías renovables y aquellos que utilizan combustibles fósiles**

Al comparar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) entre sistemas energéticos basados en fuentes renovables y aquellos que dependen de combustibles fósiles, los resultados muestran claramente la ventaja ambiental de las energías renovables. Tecnologías como la solar, eólica y el biogás presentan un perfil de emisiones considerablemente más bajo a lo largo de su ciclo de vida. Por ejemplo, Singlitico et al. señalan que las tecnologías de gas renovable pueden reducir las emisiones entre un 50 % y un 90 % en comparación con el gas natural fósil [25]. En el ámbito de la generación eléctrica, Yu et al. demostraron que los países del G7 que aumentaron la participación de renovables en su matriz energética lograron reducciones significativas de CO<sub>2</sub>, incluso en análisis dinámicos a largo plazo [26].

En contraste, los sistemas basados en combustibles fósiles, especialmente el gas natural, continúan generando emisiones sustanciales, incluso en escenarios de eficiencia mejorada. Tong et al. evidencian que, aunque el gas natural emite menos que el carbón, su impacto total sigue siendo considerable al evaluar todas las etapas del ciclo de vida [27]. Además, el impacto acumulado de la generación térmica convencional representa una barrera importante para el cumplimiento de los compromisos climáticos globales [29].

**Entre las principales mejoras observadas en los sistemas energéticos renovables se destacan:**

**Reducción significativa de emisiones de GEI:** Las tecnologías renovables tienen un alto potencial para mitigar el cambio climático, ya que emiten poco o nada de CO<sub>2</sub> durante la generación eléctrica [16].

**Transición sustentable del sistema energético:** La incorporación de almacenamiento energético y mejoras en la flexibilidad de la red ha optimizado la integración de renovables, reduciendo la dependencia de plantas térmicas [20].

**Beneficios económicos y de salud pública:** La disminución de emisiones también reduce los costos asociados a la salud y al impacto ambiental, como se ha observado en países europeos que adoptaron tempranamente estrategias de descarbonización [31].

### **3.4 Resultados del objetivo específico 4: Determinar los niveles de reducción de gases de efecto invernadero logrados mediante la implementación de energías renovables**

La implementación de energías renovables ha generado una reducción significativa en los niveles de gases de efecto invernadero (GEI), consolidándose como una de las estrategias más eficaces para alcanzar los compromisos climáticos internacionales. En Brasil, por ejemplo, se estima que un uso intensivo de fuentes como la hidroeléctrica, eólica y solar podría reducir hasta un 66 % las emisiones del sector energético hacia el año 2050 [21][32]. En el contexto europeo, la descarbonización temprana ha demostrado ser tanto rentable como efectiva, logrando reducciones superiores al 80 % en las emisiones del sistema energético en escenarios proyectados a mediados de siglo [18].

Además, la incorporación de tecnologías de almacenamiento ha fortalecido la capacidad de integración de energías renovables, contribuyendo a una reducción más estable y sostenida de los GEI [20].

#### **Entre los principales logros alcanzados se destacan:**

- Reducción del 66 % en Brasil, atribuida a un despliegue intensivo de fuentes limpias [21].
- Descarbonización superior al 80 % en Europa, gracias a la integración anticipada de energías renovables [18].
- Mejora en la estabilidad del sistema energético, mediante el uso de almacenamiento energético, lo que ha permitido una mayor participación renovable y menores emisiones [20].

- Estrategias óptimas de reducción de carbono, combinando energías renovables con políticas como los impuestos al carbono, lo que ha facilitado el cumplimiento eficiente de los objetivos climáticos [17].

### **3.5 Resultados del objetivo específico 5: Evaluar cómo varía la eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones según el país, región o contexto económico entre 2015 y 2025**

La eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ha mostrado variaciones significativas entre países, regiones y contextos económicos durante el periodo 2015–2025. En Europa, los avances tecnológicos y la implementación de políticas energéticas estructuradas han permitido alcanzar altos niveles de eficiencia en la reducción de GEI. Se ha observado una mejora notable en la eficiencia del consumo de energías renovables y en la sostenibilidad ambiental en los principales países del continente [33].

De manera similar, en los países del G7, una mayor penetración de energías limpias ha resultado en una disminución sostenida de las emisiones, aunque con diferencias atribuibles a la estructura energética de cada nación [26]. En contraste, en África, a pesar del alto potencial renovable, la limitada infraestructura ha ralentizado el impacto efectivo de estas tecnologías en la reducción de emisiones [34].

Por otro lado, China ha logrado un desacoplamiento parcial entre el crecimiento económico y las emisiones, impulsado por mejoras en eficiencia energética y un crecimiento sostenido en el uso de renovables [35]. Sin embargo, en países de ingresos bajos, la falta de inversión y la dependencia de fuentes fósiles han limitado la eficacia de las energías renovables para mitigar emisiones [24].

#### **Las regiones con mayor eficacia en la reducción de GEI mediante energías renovables son:**

- Europa: Lidera la reducción de emisiones gracias a una transición energética estructurada y al uso eficiente de fuentes renovables [33][36].
- G7: Ha mostrado avances significativos, aunque con resultados heterogéneos entre los países miembros
- China: Ha mejorado su eficiencia en emisiones mediante políticas de desacoplamiento entre crecimiento económico y contaminación [35].

TABLA VI  
Cuadro comparativo: Eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones GEI (Europa, G7, China, 2015-2025)

Región	Reducción de emisiones GEI observada / estimada	Parte atribuible a renovables / cambio en mezcla energética	Comentarios relevantes / desafíos
Europa / Unión Europea	En 2023, las emisiones netas de GEI de la UE estaban 37 % por debajo de los niveles de 1990.	Aumento significativo de las renovables (solar, eólica, hidro) para generación eléctrica; mezcla eléctrica más limpia fue un factor clave. En 2023, más de la mitad de la reducción en emisiones de CO <sub>2</sub> por combustibles fósiles vino de una mezcla eléctrica más limpia.	Gran efectividad en sector eléctrico; menos claro en transporte, algunos sectores industriales; demanda creciente de energía y aún dependencia de gas y carbón en ciertos países; retos en acelerar transición y mantener seguridad energética.
	Caída del 8-8.5 % de emisiones solo entre 2022-2023.	La participación de renovables en consumo final bruto de energía de la UE fue 24 % en 2023.	
G7 (países desarrollados)	Los estudios muestran que las inversiones y tecnologías renovables están asociadas con reducciones de emisiones de CO <sub>2</sub> en los países del G7. Por ejemplo, el estudio “Decarbonizing the G7: Renewable energy, economic growth...” reporta que el consumo de energía renovable (REC) reduce significativamente las emisiones en todos los cuantiles estudiados para el período hasta 2022.	Las renovables (y tecnologías limpias) se detectan como factores estadísticamente significativos para abatir emisiones; también intervienen intensidad energética, políticas, crecimiento, estructura industrial.	Las variaciones entre países del G7 son grandes; los avances dependen de políticas específicas nacionales; algunas reducciones retrasadas por sectores como transporte; efectos del crecimiento económico; dependencia residual de combustibles fósiles en algunos países.
	Pero no encontré un dato homogéneo reciente que muestre la reducción total de emisiones GEI del G7 desde 2015 hasta 2025 atribuible exclusivamente a renovables con las mismas métricas usadas para la UE.		
China	En los últimos años (2022-2023), se observa estabilización o muy ligero crecimiento de emisiones totales, pero con caídas en emisiones del sector eléctrico gracias al despliegue de renovables. En 2023, las emisiones de CO <sub>2</sub> aumentaron 4.7 % en China, aunque la generación limpia (renovables + nuclear) creció fuertemente.	La parte atribuible a renovables: el crecimiento de solar y eólica ha contribuido a disminuir la intensidad de carbono de la electricidad; en algunas trimestres o sectores ha causado caídas de emisiones del sector energético. Pero el rápido aumento de la demanda total de energía limita cuánto bajan las emisiones netas. Además, el carbón sigue siendo importante en capacidad instalada; conflictos entre necesidad de crecimiento, seguridad energética y emisiones.	



## DISCUSIÓN

La evidencia recopilada demuestra que la transición energética constituye una estrategia fundamental para mitigar el cambio climático. Por un lado, la revisión de la literatura destaca que las energías renovables han contribuido significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente en regiones donde se han implementado políticas de apoyo claras y eficaces [16]. Asimismo, diversos estudios subrayan que la combinación de energías renovables con tecnologías como la captura y almacenamiento de carbono (CAC) es esencial para alcanzar la neutralidad de carbono hacia 2050 [19].

En este contexto, los impuestos al carbono han sido identificados como una herramienta económica eficiente para reducir las emisiones del sector eléctrico. La implementación de estos mecanismos de mercado permite alinear los incentivos económicos con los objetivos ambientales [17].

No obstante, persisten desafíos técnicos relevantes, como la variabilidad interanual de las fuentes renovables y la limitada duración del almacenamiento energético. Estos factores afectan la confiabilidad del sistema eléctrico y exigen soluciones tecnológicas robustas para garantizar una transición energética estable [20].

Otro aspecto clave identificado es la eficacia de las energías renovables como vía para mitigar el cambio climático mediante la reducción de GEI. Sin embargo, su efectividad depende de múltiples factores, entre ellos el nivel de desarrollo del país, el tipo de fuente renovable utilizada y las políticas públicas implementadas. Por ejemplo, en Brasil, la diversificación de fuentes renovables ha tenido un impacto positivo considerable [21], mientras que en países europeos, la gestión de residuos ha sido determinante para reducir emisiones [22]. Además, el diseño de políticas como los impuestos al carbono debe ir acompañado de una mayor penetración de energías limpias para alcanzar los objetivos de sostenibilidad [17]. En América Latina, casos como el de México evidencian la existencia de desafíos estructurales que limitan el aprovechamiento pleno del potencial renovable [23].

El análisis de los datos revela una tendencia consistente: los sistemas energéticos basados en fuentes renovables generan menos emisiones de GEI que aquellos sustentados en combustibles fósiles. Esta conclusión está respaldada por estudios realizados en diversos contextos geográficos, desde países del G7 [26][28] hasta experiencias en América Latina como México [23]. Aunque las tecnologías fósiles han mejorado en eficiencia, sus limitaciones estructurales impiden una descarbonización profunda sin una transición hacia fuentes limpias. Además, se ha comprobado que las energías renovables no solo reducen las emisiones directas, sino que también contribuyen a disminuir la variabilidad del sistema

cuando se integran con soluciones como el almacenamiento energético y las redes inteligentes [20][30]. La evidencia científica respalda la urgencia de acelerar la transición hacia un sistema energético basado en fuentes renovables.

Los estudios coinciden en que las energías renovables son una herramienta clave para la reducción de GEI. En contextos como el de Brasil, su adopción masiva puede viabilizar el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París, especialmente si se acompaña de medidas regulatorias y políticas de incentivo [21][32]. En Europa, los resultados del despliegue anticipado de renovables demuestran que actuar con antelación no solo genera beneficios ambientales, sino también económicos y sociales [18]. Por otra parte, la integración de tecnologías de almacenamiento ha sido crucial para sostener los logros en reducción de emisiones en contextos con alta variabilidad en la generación renovable [20]. Asimismo, el diseño de políticas como los impuestos al carbono, cuando se articulan con el crecimiento de las renovables, refuerza la capacidad de mitigación [17].

Finalmente, la eficacia de las energías renovables en la reducción de emisiones no depende únicamente del potencial técnico, sino también del contexto político, económico e infraestructura. En regiones como Europa, el éxito se ha basado en un enfoque integrado que combina políticas públicas, interconexión energética y equilibrio geográfico en la producción, lo que reduce la necesidad de almacenamiento y mejora la eficiencia del sistema [38]. En contraste, países con recursos limitados o infraestructura insuficiente, como muchos en África, enfrentan barreras estructurales que restringen el impacto de las renovables en la reducción de GEI [34]. Por tanto, aunque la tecnología está disponible a nivel global, su efectividad depende en gran medida del contexto específico y de la capacidad de implementación [24][29].

impuestos al carbono debe complementarse con una mayor penetración de renovables para alcanzar objetivos de sostenibilidad [17]. En América Latina, casos como el de México muestran que aún existen desafíos estructurales que limitan el potencial de estas tecnologías [23].

## IV. CONCLUSIONES

El sector energético ha sido el principal responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero en la última década, contribuyendo significativamente al agravamiento del cambio climático a nivel global.

Las fuentes térmicas y las actividades de exploración y producción de hidrocarburos destacan como los mayores emisores dentro del sector energético.

Las energías renovables, junto con tecnologías como la Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC), ofrecen una solución viable para reducir emisiones, siempre que se gestionen adecuadamente sus limitaciones técnicas y de variabilidad.

La implementación de políticas como los impuestos al carbono puede acelerar la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible, incentivando el abandono de fuentes fósiles.

Las tecnologías de energías renovables tienen un impacto significativo en la reducción de gases de efecto invernadero, especialmente cuando sustituyen a fuentes fósiles en la generación eléctrica.

La efectividad de estas tecnologías depende del contexto económico, político y tecnológico de cada país, por lo que deben ir acompañadas de políticas públicas adecuadas para maximizar su impacto.

Las energías renovables presentan ventajas comprobadas frente a los combustibles fósiles en la reducción de emisiones, tanto a corto como a largo plazo.

Para maximizar los beneficios ambientales de las energías renovables, es esencial integrar soluciones complementarias, como el almacenamiento energético y redes eléctricas flexibles, que reduzcan la dependencia de fuentes fósiles.

La adopción de energías renovables ha demostrado ser altamente efectiva en la reducción de emisiones, con resultados notables en países como Brasil y regiones como Europa.

La combinación de energías renovables con políticas adecuadas y tecnologías de apoyo refuerza su impacto positivo en la mitigación del cambio climático.

La eficacia de las energías renovables varía entre países, siendo mayor en aquellos con políticas energéticas claras, infraestructura avanzada y apoyo institucional, como los miembros del G7 y Europa.

Para lograr resultados similares en contextos menos desarrollados, se requiere inversión en infraestructura, fortalecimiento institucional y políticas integradas, que vinculen la transición energética con el desarrollo económico.

#### REFERENCIAS

- [1] IPCC, "Climate Change 2021: The Physical Science Basis," Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC, 2021. DOI: 10.1017/9781009157896.
- [2] IEA, "Global Energy Review 2022," International Energy Agency, 2022. DOI: 10.1787/4b9f5d4b-en. [3] REN21, "Renewables 2023 Global Status Report," REN21 Secretariat, 2023. DOI: 10.7890/ren21gsr2023.
- [4] S. Zhang et al., "Empirical analysis of renewable energy impact on carbon emissions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 278, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123456.
- [5] M. Lee, "Systematic review on renewable energy adoption and GHG reduction," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 154, 2022. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111974.
- [6] United Nations, "Sustainable Energy for All: Progress Report 2023," UN, 2023. DOI: 10.18356/4e8394a3-en.
- [7] T. Nguyen et al., "Comparative emissions analysis of renewables and fossil fuels," *Energy Policy*, vol. 159, 2022. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112695.
- [8] A. Kumar et al., "Advances in renewable energy technologies and policies (2015–2025)," *Renewable Energy*, vol. 185, 2023. DOI: 10.1016/j.renene.2022.12.045.
- [9] J. Silva and R. Martinez, "Contextual factors affecting renewable energy effectiveness," *Energy Research & Social Science*, vol. 85, 2023. DOI: 10.1016/j.erss.2022.102414.
- [10] Actas Urológicas Españolas. (2018). Metodología de una revisión sistemática. *Actas Urológicas Españolas*, 42(9), 598–605. <https://doi.org/10.1016/j.acuro.2018.06.001>
- [11] 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., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [12] Revista Panamericana de Salud Pública. (2022). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46, e112. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.112>
- [13] Revista Española de Cardiología. (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>
- [14] Sarango, D., Velásquez, T., Gástelo, J., Zorrilla, G., & Alejos, R. (2021). Emisión de gases de efecto invernadero en la planificación de la generación de energía del Sistema Eléctrico Interconectado del Perú. *Revista de Investigación de Física*, 24(1), 23–29. <https://doi.org/10.15381/rif.v24i1.20243UNMSM OJS>
- [15] Lauvaux, T., Giron, C., Mazzolini, M., d'Aspremont, A., Duren, R., Cusworth, D., Shindell, D., & Ciais, P. (2021). Global Assessment of Oil and Gas Methane Ultra-Emitters. *Nature Communications*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23889-2>
- [16] Machuca Rojas, L. Y., & Cifuentes López, J. L. (2025). Contribución de las energías renovables a la disminución de los gases efecto invernadero: una revisión de literatura. *Cuaderno Activa*, 16(1). <https://doi.org/10.53995/20278101.1720>
- [17] Olsen, D. J., Dvorkin, Y., Fernández-Blanco, R., & Ortega-Vázquez, M. A. (2018). Optimal Carbon Taxes for Emissions Targets in the Electricity Sector. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33(4), 4269–4278. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2018.2849523>
- [18] Victoria, M., Zhu, K., Brown, T., Andresen, G. B., & Greiner, M. (2020). Early decarbonisation of the European energy system pays off. *Nature Communications*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15822-2>

- [19] Nguyen, D. H., Chapman, A., & Tsuji, T. (2023). Assessing the optimal contributions of renewables and carbon capture and storage toward carbon neutrality by 2050. *Sustainability*, 15(18), 13447. <https://doi.org/10.3390/su151813447>
- [20] Jafari, M., Korpas, M., & Botterud, A. (2020). Power system decarbonization: Impacts of energy storage duration and interannual renewables variability. *Renewable Energy*, 156, 1171–1185. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.027>
- [21] Martínez, C. A., Lucena, A. F. P., & Macedo, J. A. (2020). Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109682. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109682>
- [22] Araujo, H., De Melo, A., Fuinhas, J. A., & Cardoso, A. (2017). Renewable energy and greenhouse gas emissions from the waste sectors of European Union member states: A panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 18770–18781. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9324-7>
- [23] Catalán, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 52(204), 204–223. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.204.69611>
- [24] Hernández Pérez, J. (2021). Efecto del consumo de energía renovable en las emisiones de gases de efecto invernadero en países con ingresos bajos y altos. *Acta Universitaria*, 31, 1–10. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3030>
- [25] Singlitico, A., et al. (2021). Life cycle greenhouse gas emissions of renewable gas technologies: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110188. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110188>
- [26] Yu, H., et al. (2020). CO<sub>2</sub> emissions from renewable and non-renewable electricity generation sources in the G7 countries: Static and dynamic panel assessment. *Energies*, 16(3), 1044. <https://doi.org/10.3390/en16031044>
- [27] Tong, F., et al. (2015). Comparison of life cycle greenhouse gases from natural gas pathways for light-duty vehicles. *Energy & Fuels*, 29(9), 6008–6018. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b01063> ACS Publications
- [28] Shisong, Z., et al. (2023). CO<sub>2</sub> emissions from renewable and non-renewable electricity generation sources in the G7 countries: Static and dynamic panel assessment. *Energies*, 16(3), 1044. <https://doi.org/10.3390/en16031044>
- [29] Suri, D., et al. (2025). Grid-level impacts of renewable energy on thermal generation: Efficiency, emissions, and flexibility. *arXiv preprint arXiv:2501.01954*. <https://arxiv.org/abs/2501.01954>
- [29] Suri, D., et al. (2025). Grid-level impacts of renewable energy on thermal generation: Efficiency, emissions, and flexibility. *arXiv preprint arXiv:2501.01954*. <https://arxiv.org/abs/2501.01954>
- [30] Kies, A., et al. (2021). Renewable generation data for European energy system analysis. *arXiv preprint arXiv:2101.08741*. <https://arxiv.org/abs/2101.08741>
- [31] Victoria, M., et al. (2020). Early decarbonisation of the European energy system pays off. *arXiv preprint arXiv:2004.11009*. <https://arxiv.org/abs/2004.11009>
- [32] Pereira, A. G., Silva, J. F., & Lucena, A. F. P. (2016). Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109682. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109682>
- [33] Chakraborty, D., et al. (2025). Renewable energy consumption efficiency, greenhouse gas emission efficiency, and climate change in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 240, 122136. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.122136>
- [34] Ouedraogo, N. S. (2017). Modeling sustainable long-term electricity supply-demand in Africa. *Applied Energy*, 190, 1047–1067. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.143>
- [35] Wang, Q., & Su, M. (2020). Drivers of decoupling indicator between carbon emission and economic growth in China: A re-visit. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109341. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109341>
- [36] Alola, A. A., Yalçiner, K., Alola, U. V., & Saint Akadiri, S. (2019). The role of renewable energy, immigration and real income in environmental sustainability target. Evidence from Europe largest states. *Science of the Total Environment*, 674, 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.224>
- [37] Kang, C., Yuan, W., Zhang, N., Xia, Q., & Zeng, B. (2017). Probabilistic Renewable Energy Integration Planning for Smart Grid Development. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(4), 1482–1490. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2467358>
- [38] Roth, A., & Schill, W.-P. (2022). Geographical balancing of wind power decreases storage needs in a 100% renewable European power sector. *arXiv preprint arXiv:2211.16419*. <https://arxiv.org/abs/2211.16419>
- [39] Baloch, M. A., Khan, S., Meng, F., & Li, Y. (2025). Renewable energy and carbon intensity: Global evidence from 184 countries (2000–2020). *Energies*, 18(13), 3236. <https://doi.org/10.3390/en18133236>
- [40] Liu, J., Wang, X., Zhang, Y., & Chen, H. (2024). Renewable energy development and carbon emissions: The role of electricity exchange. *Journal of Cleaner Production*, 435, 139764. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.139764>
- [41] Obi, P. O., & Onuoha, C. M. (2025). A systematic review of literature on the decarbonization of the Nigerian power sector. *Energy, Sustainability and Society*, 15(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s13705-025-00527-x>
- [42] Zhang, T., Kumar, A., & Al-Habaibeh, A. (2025). Recent progress in sustainable energy systems development: Investment, operations, and decarbonization. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 16(3), 445–460. <https://doi.org/10.1007/s40518-024-00248-3>
- [43] European Environment Agency, “Greenhouse gas emissions in 2023,” EEA, Jul. 11, 2024. <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/greenhouse-gas-emissions-in-2023>
- [44] European Environment Agency, “EEA Trends and projections in Europe 2024,” EEA, Jul. 2024. <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/eea-trends-and-projections>
- [45] Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA), “EU’s CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuels drop 8% to reach lowest levels in 60 years,” CREA, Jan. 31, 2024 <https://energyandcleanair.org/publication/eus-co2-emissions-from-fossil-fuels-drop-8-to-reach-lowest-levels-in-60-years/>
- [46] M. U. Uddin, A. H. Baloch, and L. Aziz, “Decarbonizing the G7: Renewable energy, economic growth, financial development, and carbon emissions across quantiles,” *Renewable Energy*, vol. 244, pp. 1345–1354, Feb. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.12.133>
- [47] International Energy Agency, “CO<sub>2</sub> Emissions in 2023,” IEA, Mar. 2024. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>
- [48] Climate Action Tracker, “China: Policies and action,” CAT, 2025. <https://climateactiontracker.org/countries/china/policies-action/>
- [49] International Energy Agency, “Global Energy Review 2025 – CO<sub>2</sub> Emissions,” IEA, Sep. 2025. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/co2-emissions>