



Contribución de las energías renovables a la disminución de los gases efecto invernadero: una revisión de la literatura

Contribution of Renewable Energies to the Reduction of Greenhouse Gases: a Literature Review

Jessica Lorena Cifuentes López¹, Lyda Yiced Machuca Rojas²

Tipo de Artículo: revisión de literatura.

Recibido: 09/11/2024. **Aprobado:** 10/12/2024. **Publicado:** 12/12/2024

Resumen: La demanda energética en el mundo se ha convertido en una necesidad imperativa de la sociedad, debido a que los avances tecnológicos requieren disponibilidad continua de energía. Sin embargo, la energía convencional, al provenir de recursos naturales no renovables conlleva a la generación de impactos ambientales altamente significativos, los cuales en un futuro no muy lejano ocasionarán escasez e incremento de los precios. Además, su proceso productivo contribuye a la emisión de gases efecto invernadero, responsables del aumento de la temperatura superficial de la Tierra. Por ello, resulta indispensable el uso de energías renovables, que permitan disminuir la concentración de dichos gases en la atmósfera. Ahora bien,

diferentes estudios se han enfocado en el uso e implementación de energías renovables como alternativa para estas emisiones. En consecuencia, se hace necesario revisar la literatura a nivel mundial, nacional y regional, sobre la implementación de las energías renovables y su contribución a la disminución de los gases efecto invernadero. Los resultados evidencian efectos positivos en términos de eficiencia energética y en el sector de servicios, donde las energías renovables actúan como fuerzas sustitutivas reduciendo las emisiones con una tasa marginal de sustitución decreciente.

¹ Autor correspondiente: Jessica Lorena Cifuentes López. Mayor título: Magister en Sistemas Integrados de Gestión. Filiación institucional: Universidad Antonio Nariño. País: Colombia, Ciudad: Duitama. Correo electrónico: jcifuentes58@uan.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3496-8349>

² Autor correspondiente: Lyda Yiced Machuca Rojas. Mayor título: Magister en Manejo y Sostenibilidad Ambiental. Filiación institucional: Universidad Antonio Nariño. País: Colombia, Ciudad: Duitama. Correo electrónico: lmachuca20@uan.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6187-2839>

Palabras clave: energía convencional; energías alternativas; gases de efecto invernadero; efecto invernadero.

Abstract: Global energy demand has become an imperative necessity for society, as technological advances require continuous energy availability. However, conventional energy, which comes from non-renewable natural resources, leads to highly significant environmental impacts, which in the not-too-distant future will cause shortages and price increases. In addition, its production process contributes to the emission of greenhouse gases, which are responsible for the increase in the Earth's surface temperature. Therefore, the use of renewable energies is essential to reduce the concentration of these gases in the atmosphere. However, various studies have focused on the use and implementation of renewable energies as an alternative to mitigate these emissions. Consequently, it is necessary to review the existing literature, at the global, national, and regional levels, on the implementation of renewable energies and their contribution to the reduction of greenhouse gases. The results show positive effects in terms of energy efficiency and in the service sector, where renewable energies act as substitute forces, reducing emissions at a decreasing marginal rate of substitution.

Keywords: conventional energy; alternative energies; greenhouse gases; greenhouse effect.

I. Introducción

El cambio climático, la contaminación y la inseguridad energética son problemas cruciales en la actualidad, lo que exige transformaciones significativas en la gestión de los recursos naturales. Es fundamental avanzar hacia sistemas energéticos que integren energías renovables y que logren una huella de carbono neutral. Esto es posible mediante la aplicación del concepto de desarrollo sostenible y el avance en tecnologías que aprovechen fuentes de energía renovable. De esta manera, se restablecerían las condiciones necesarias para equilibrar las actividades humanas con la capacidad regenerativa de la biosfera. En síntesis, se trataría de una gestión

eficaz de los recursos naturales que garantice el bienestar de las futuras generaciones y del ecosistema global [1].

La energía es considerada un elemento esencial para el desarrollo, ya que posibilita inversiones, innovación y creación de nuevas industrias, fundamentales para la generación de empleo, el crecimiento inclusivo y la prosperidad compartida de las economías. El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 establece el acceso universal a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Este objetivo es fundamental para alcanzar otros ODS y el eje central de los esfuerzos para hacer frente al cambio climático [2].

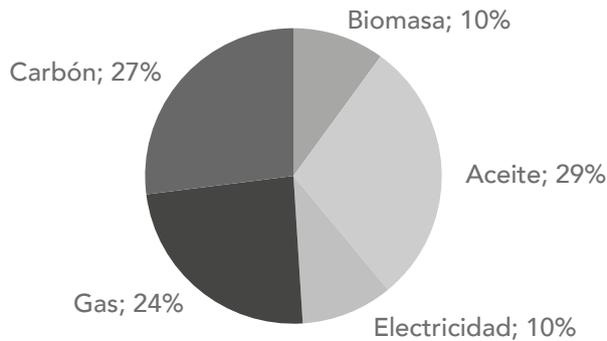
El consumo energético global experimentó un repunte del 5% en 2021, tras una reducción del 4,5% en 2020 como consecuencia de la pandemia. Esta recuperación supera en 3 puntos el promedio anual del 2% registrado entre 2000-2019. El consumo energético aumentó en la mayoría de los países: 5,2% en China (+2,2% en 2020), 4,7% en India (-5,6% en 2020), 4,7% en Estados Unidos (-8,6% en 2020), 9% en Rusia (-4% en 2020) y 4,5% en la UE (-6,8% en 2020) [3].

El incremento del consumo energético también se registró en la mayoría de las regiones: 9% en la CEI, 5% en América Latina y 7% en África, salvo en Oriente Medio (-0,4%) y el Pacífico (-2, %) [3].

Según cifras de Enerdata, el consumo total de energía en el mundo en 2021 fue de 14.646 Mtoe. De esta cifra, Europa reportó un consumo de 995 Mtoe, Asia 4629 Mtoe, África 1102 Mtoe y América 3621 Mtoe de las cuales América del Norte representó un consumo de 2742 Mtoe y Latinoamérica de 879 Mtoe [3].

Como se muestra en la Figura 1, la energía producida en 2021 a nivel mundial se originó en un 10% de biomasa, 29% de aceite, 10% de electricidad, 24% de gas y 27% de carbón.

Figura 1. Porcentaje de energía producida en el mundo por sector en 2021



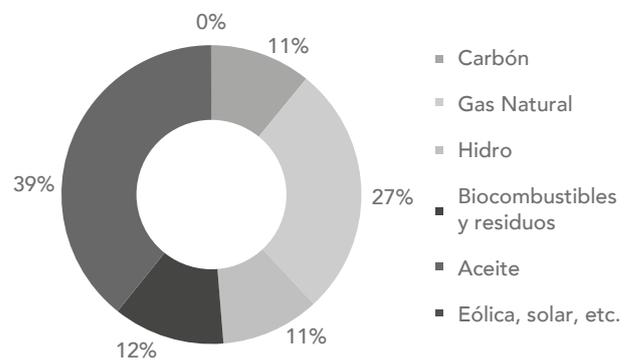
Nota: fuente elaboración propia a partir de Enerdata.

El aumento de las emisiones de CO₂, impulsado por la recuperación económica mundial, aceleró el crecimiento por encima de la tendencia histórica (+1,9%/ anual entre 2000 y 2019). Las emisiones mundiales de CO₂ repuntaron un 5,4% y alcanzaron su nivel récord (33 GtCO₂). Entre los principales emisores, Australia fue el único país donde las emisiones de CO₂ siguieron una tendencia a la baja (-3,6%), debido principalmente a una contracción del 4,3% en el sector eléctrico, producto de la reducción de la participación de las centrales eléctricas de carbón y gas en favor de fuentes solares y eólicas.

En Japón, el crecimiento de las emisiones de CO₂ se mantuvo controlado (+0,8%). En contraste, se registraron aumentos en Brasil (+14%, por el mayor uso de centrales eléctricas a gas y un aumento en el consumo del sector transporte, basado principalmente en petróleo), en Rusia (+9,5%, con una demanda récord de gas, especialmente en los sectores energético e industrial) y, en menor medida, en Estados Unidos (+6,2%). En Rusia, el aumento (+156 MtCO₂) fue casi equivalente al incremento total registrado en la Unión Europea, donde Alemania, Francia, Italia y Países Bajos contribuyeron con más del 70% del crecimiento de las emisiones de CO₂. Por su parte, China alcanzó su máximo histórico de emisiones (+6,3%, 10,4 GtCO₂), impulsado por un aumento del 10% en la demanda energética en 2021, y por la activación de aproximadamente 7 GW de centrales eléctricas a carbón [3].

A nivel nacional, según los indicadores de la IEA para 2019, Colombia generó un total de 1.843.113 TJ de energía, de los cuales 200.528 TJ provinieron del carbón, 500.934 TJ del gas natural, 196.537 TJ de fuentes hidráulicas, 221.728 TJ de biocombustibles y residuos, 722.665 TJ de aceite o petróleo, y 721 TJ de energía eólica, solar y otras fuentes renovables [4].

Figura 2. Porcentaje de energía producida en Colombia por sector en 2019



Nota: fuente elaboración propia a partir de la IEA, 2019.

Según la IEA, Colombia generó en 2019 un total de 74,88 Mt de emisiones de CO₂. Sin embargo, a nivel global, y en el contexto de la reactivación económica posterior a la pandemia por Covid – 19, la generación de emisiones incrementó un 5,4 [4].

La evidencia científica respalda que la implementación de tecnologías asociadas al uso de energías renovables tiene un efecto directo en la disminución de gases de efecto invernadero. Además, estas fuentes ofrecen beneficios adicionales, como mayor seguridad energética, mejora en la calidad del aire urbano y crecimiento socioeconómico vinculado a la generación de nuevos empleos.

Gracias a la diversidad de fuentes disponibles, los países no están obligados a centrarse en una sola modalidad de energía renovable. Por otro lado, la flexibilidad tecnológica de estas fuentes permite su implementación tanto en redes conectadas como en sistemas aislados, desde unos pocos kilova-

III. Resultados

A nivel internacional, Liobikienė y Butkus [6], identificaron que el sector de servicios, la eficiencia energética y las energías renovables actuaron como fuerzas sustitutivas que redujeron las emisiones de gases de efecto invernadero, con una tasa marginal de sustitución decreciente.

Los efectos estimados de las variables sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y su significancia estadística son consistentes en todas las estimaciones. En igualdad de condiciones, se calcula que un incremento del 1% en la eficiencia energética reducirá los GEI entre un 0,20% y un 0,29%. El proceso de incorporación de las energías renovables al consumo energético también muestra una correlación negativa con las emisiones: se estima que un aumento del 1% en estas fuentes reducen los GEI entre un 0,09-0 y un 12% [6].

Por otra parte, los investigadores Janzen y Davis [7], propusieron evaluar el potencial de reducción de GEI y los costos asociados a la integración de tecnologías basadas en la energía renovable en las arenas petrolíferas de Canadá. Analizaron un total de 27 escenarios a largo plazo en los procesos de extracción, mejoramiento y generación eléctrica a partir de dichas arenas.

Los resultados muestran que es posible alcanzar una reducción de hasta 84 millones de toneladas de GEI (2,3% de las emisiones del sector) con un costo marginal de \$1,3/tCO₂, en presencia de un incentivo de carbono de \$30/ por tonelada. En contraste, los escenarios sin incentivos resultaron en una reducción de 69 millones de toneladas y un aumento del costo marginal a \$36/tCO₂ [7].

En el artículo de Chang, Wei y Zhang [8], se analiza la adopción de luminarias de bajo consumo y el uso de energía renovable como medidas para mitigar las emisiones del GEI en la iluminación de las carreteras urbanas, contribuyendo así al desarrollo de entornos urbanos con bajas emisiones de carbono. El estudio empleó un enfoque ascendente para estimar el potencial de mitigación asociado al reemplazo de lámparas de sodio de alta pre-

sión (HPS) por diodos emisores de luz (LED) y la implementación de farolas híbridas eólicas-solares, solares y eólicas en China [8].

Los resultados mostraron que las emisiones incrementales de GEI asociadas a conjuntos de farolas con tecnologías de energía renovable oscilan entre 475 y 1631 kg CO₂e, con un tiempo de amortización entre 1,7 a 7,7 años, lo que las hace ambientalmente rentables. El reemplazo de las lámparas HPS por LED y el uso de energía renovable permitirán reducir anualmente hasta 21,2 millones de toneladas (Mt) de CO₂, siendo las carreteras secundarias (38%) y troncales (31%) las principales responsables de este impacto [8].

En este de China, especialmente las provincias de Jiangsu y Shandong, presenta el mayor potencial de mitigación de GEI. Ciudades como Dalian, Shanghai y Tianjin se encuentran entre las más destacadas en este ámbito. En cuanto a los niveles administrativos, las ciudades a nivel de prefectura podrían alcanzar un potencial de mitigación del 56%, equivalente a aproximadamente 11,9 Mt CO₂e por año [8].

Lima, Méndez, Mothé y Linhares analizan la expansión del uso de fuentes de energía renovable en Brasil, considerando la vulnerabilidad futura de su matriz eléctrico. En este país, el uso de energías renovables como la eólica, solar y la cogeneración ha crecido de forma significativa. La incorporación de estas fuentes, junto con el mantenimiento de inversiones en energía hidroeléctrica, forman parte de la estrategia nacional para disminuir la vulnerabilidad ante el cambio climático [9].

Por último, según la revisión bibliográfica citada, se prevé que la energía solar fotovoltaica, respaldada por sistemas de baterías, se convertirá en la tecnología de generación dominante, cubriendo el 77% de la demanda energética internacional [10].

Por ejemplo, un sistema 100% basado en fuentes renovables, como el de Irán, que combina energía solar fotovoltaica con eólica y algo de hidroeléctrica, se convierte en la columna vertebral del sistema energético, mientras que las tecnologías de

almacenamiento cumplen un rol crucial al garantizar su resiliencia y confiabilidad [10].

Ahora bien, Colombia forma parte del grupo de países en desarrollo que enfrentan nuevos desafíos energéticos debido a fenómenos climáticos, avances tecnológicos y el creciente uso de fuentes renovables [11].

Ubicada en América del Sur, en el eje ecuatorial, Colombia ha comenzado a integrarse activamente en el campo de la sustentabilidad energética. Ha incursionado en la matriz de energías renovables, con el compromiso de reducir su dependencia económica de los combustibles fósiles y las GEI. Asimismo, Colombia ha comenzado a diversificar sus alternativas hacia una mayor eficiencia económica, ecológica y social, siguiendo ejemplos exitosos de países desarrollados [12].

Para 2030, se proyecta que la demanda total de energía de Colombia en el escenario positivo será de 1.597.675 TJ y de 1.748.469 TJ en el escenario negativo. Para 2050, las estimaciones indican una demanda de 2,125,453 TJ en el escenario positivo, frente a 2.498.765 TJ en el negativo. En ambos escenarios, el sector transporte será el mayor consumidor, seguido por el sector industrial [11].

Respecto a las emisiones, se prevé que, en 2030 Colombia generará 108,3 millones de toneladas (Mton) de CO₂ en el escenario positivo y 118,5 Mton en el negativo. Para 2050, la generación total emisiones serían de 140,1 Mton y 150,5 Mton respectivamente. [11].

Sin embargo, recientes estudios han demostrado que, mediante la implementación de energías renovables, es posible lograr reducciones de emisiones de carbono entre el 7% y el 41% [13].

Colombia posee recursos naturales diversos, viento, sol y agua, pero carece de un marco legal claro que regule de forma sostenible y segura el desarrollo de la energía eólica marina, considerada una fuente no convencional. Esta tecnología podría satisfacer la demanda energética durante periodos de baja

generación hidroeléctrica, como los ocasionados por El Niño y otras condiciones hidrológicas adversas [14].

Hasta el año 2014, la única normativa en Colombia que promovía el uso de energías renovables era la Ley 1715 de 2014, cuyo objetivo era impulsar el desarrollo y uso de fuentes de energía no convencionales, principalmente renovables, mediante su integración a mercado eléctrico, su participación en áreas no interconectadas, la reducción de emisiones de GEI y la garantía del suministro energético [12].

Sin embargo, en 2021, se aprobó la Ley 2099, que busca fomentar el desarrollo y el uso de fuentes de energía no convencionales, con especial énfasis en la creación de sistemas de almacenamiento y el uso eficiente de la energía. Estos sistemas se integrarán al mercado eléctrico, participarán en zonas no interconectadas y ofrecerán servicios de evaluación de eficiencia energética. La Ley también busca promover la gestión energética eficiente [15].

Así mismo, en Colombia, la producción agrícola, ganadera y agroindustrial (incluidos los mataderos) genera una cantidad significativa de residuos de biomasa, los cuales pueden tener impactos ambientales relevantes. Las tecnologías de conversión de residuos en energía, como la combustión directa y digestión anaeróbica, representan una alternativa para revalorizar estos residuos como fuente energética. La biomasa constituye la principal fuente renovable en Colombia y podría, de manera sostenible, cubrir entre el 15% y el 28% de la combinación energética de uso final. Sin embargo, con menos del 1% de la capacidad energética reflejada en proyectos renovables, los avances en este ámbito aún son limitados [16].

Durante el desarrollo de esta investigación se identificaron criterios clave sobre la contribución de las energías renovables en la disminución de los gases de efecto invernadero, entre ellos:

La eficiencia energética: esencial para reducir la vulnerabilidad de los sistemas energéticos, con beneficios en los ámbitos social, económico y

ambiental. Es considerada una estrategia clave para disminuir las emisiones de dióxido de carbono y promover la seguridad energética mediante el uso de fuentes limpias y sostenibles [17].

Sostenibilidad: consiste en establecer un balance entre el desarrollo económico, la salud pública y el cuidado y conservación del medio ambiente. Mantener una calidad del aire adecuada es fundamental para la salud y el bienestar general de las personas. La contaminación atmosférica está vinculada a diversos problemas de salud pública y también impacta negativamente en los ecosistemas, la biodiversidad y el clima. Para lograr un entorno saludable y habitable, es necesaria la cooperación entre gobiernos, industrias y comunidades mediante estrategias que impulsen un futuro más limpio y sostenible [18].

Reducción de contaminantes: resulta crucial para garantizar la calidad del aire. Emisiones de dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM) y compuestos orgánicos volátiles (COV), impactan negativamente la salud humana, como problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares y otros efectos negativos en la salud, además de contribuir al cambio climático. Estos contaminantes pueden provocar problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares y otros efectos negativos en la salud. Así mismo, contribuyen al efecto invernadero y a la pérdida de los ecosistemas. Por ello, es esencial sustituir los combustibles fósiles por fuentes de energía limpias, como la solar, eólica y geotérmica, para reducir las emisiones de gases contaminantes [19].

Salud pública: la exposición a contaminantes atmosféricos, como el material particulado (PM), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el ozono (O_3), puede agravar enfermedades respiratorias preexistentes, como el asma y la bronquitis. Además, puede favorecer la aparición de nuevas enfermedades respiratorias, impactando de manera directa en la salud pública y afectando a millones de personas a nivel global. Por ello, es crucial implementar políticas efectivas y fomentar un entorno más limpio para salvaguardar la salud de la población y mejorar la calidad de vida [20].

Innovación tecnológica: crucial para generar mejoras en la calidad del aire y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. El fomento e implementación de estas tecnologías puede, proyectar un futuro más sostenible y saludable. La cooperación entre gobiernos, empresas y comunidades es esencial para promover estas innovaciones y optimizar su efecto positivo [21].

Crecimiento económico: el desarrollo económico influye de manera significativa en el aire y en la reducción de gases de efecto invernadero, ya que, a medida que las economías continúan en crecimiento, muchas naciones comienzan a adoptar políticas más rigurosas para proteger el medio ambiente. La transición hacia energías renovables también se ve facilitada, pues una economía más sólida permite mayores inversiones en tecnologías limpias. Esto implica que hay más recursos disponibles para investigar y desarrollar alternativas energéticas que disminuyan el uso constante de los combustibles fósiles [22].

IV. Discusión

El camino hacia un futuro sostenible debe incluir un refuerzo en el ahorro energético, que permita la incorporación de tecnologías con bajas emisiones de CO_2 , resaltando la importancia de las energías renovables en los escenarios globales con el objetivo de minimizar los impactos ambientales negativos. Aunque algunos escenarios pueden incidir más que otros y se generan incertidumbres respecto al potencial tecnológico de la sostenibilidad, la perspectiva es alentadora en cuanto a la eficiencia y efectividad de las medidas de mitigación del cambio climático [23].

Las principales fuentes de energía renovable, como la solar, eólica, hidráulica, biomasa y biogás, son fundamentales para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El uso de este tipo de energía garantiza la protección al medio ambiente, la calidad energética y la no generación de contaminantes atmosféricos [24].

El aprovechamiento de recursos naturales renovables con fines energéticos se ha convertido en la llamada "energía del futuro", caracterizándose por su seguridad para los seres humanos y su respeto por el medio ambiente. Además, son de fácil acceso, gratuitos y disponibles en cualquier lugar, lo que permite garantizar la independencia energética [24].

El acceso a fuentes de energía más limpias, como la solar, considerada como el combustible de los sistemas energéticos y meteorológicos, puede ser suficiente para satisfacer las necesidades energéticas en su totalidad durante periodos prolongados. Sin embargo, su principal desventaja es la variabilidad de luz solar según la época del año [25].

En la transición hacia el uso e implementación de las energías renovables y sostenibles, la energía eólica se destaca como una fuente crucial para la generación de electricidad, al ser producida por el viento y desarrollada gracias al impacto de las corrientes de aire. Se caracteriza por ofrecer un suministro inagotable de energía, convirtiéndose en un recurso ilimitado y abundante. Además, es asequible en una amplia variedad de regiones del mundo. No obstante, su principal desventaja radica en que no puede almacenarse: debe utilizarse inmediatamente después de su producción, lo que impide que sustituya por completo otras fuentes de energía [26].

Debido a la generación de residuos, se promueve el consumo de productos que, mediante procesos de reciclaje, pueden convertirse en fuentes alternativas de energía, como es el caso de la biomasa y su capacidad de transformación. La incineración de materia orgánica fomenta la producción de energía y reduce el uso de combustibles perjudiciales para el planeta Tierra [27].

El aprovechamiento de estas fuentes permite avanzar hacia un medio ambiente sostenible, promoviendo la construcción de una sociedad que salvaguarde la vida humana a largo plazo. Por ello, las energías renovables son fundamentales en las estrategias de desarrollo: su incorporación representa una opción eficaz para satisfacer la demanda energética de los

países, al diversificar sus fuentes y reducir la dependencia de combustibles importados [27].

Las fuentes de energía renovables se han consolidado como estrategias fundamentales para minimizar la contaminación atmosférica y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Al reemplazar los combustibles fósiles, estas energías contribuyen de manera significativa a reducir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes, mejorando la calidad del aire y promoviendo un entorno más saludable. La transición hacia un modelo energético basado en fuentes renovables es esencial no solo para enfrentar el cambio climático, sino también para aportar beneficios directos en la salud pública y la calidad de vida de las comunidades [28].

No obstante, la adopción de energías renovables implica desafíos, como la necesidad de contar con una infraestructura adecuada y la variabilidad en la generación de energía. Es fundamental planificar cómo dirigir el presupuesto para invertir en tecnologías de almacenamiento e integrar eficientemente estas fuentes en los sistemas actuales. Esto no solo contribuye a mitigar los impactos ambientales, sino que también garantiza un suministro energético confiable y sostenible [29].

La inclusión de energías sostenibles o renovables enfrenta varios desafíos que pueden afectar su efectividad en cuanto a la mejora de la calidad de aire. Uno de los principales inconvenientes es la necesidad de adaptar las infraestructuras eléctricas para integrar fuentes intermitentes, como la solar y la eólica, ya que muchas de estas redes no fueron diseñadas para gestionar la variabilidad en la producción, lo que puede generar inestabilidad en el suministro. A ello se suman los elevados costos iniciales asociados con la implementación de tecnologías sostenibles y los sistemas de almacenamiento, lo que representa un desafío significativo tanto para las empresas prestadoras del servicio como para la aceptación por parte de los usuarios, especialmente en regiones con recursos limitados [30].

A pesar de los diversos desafíos que implica la transición hacia energías sostenibles, se destacan los impactos ambientales positivos que esta conlleva,

como la reducción de gases de efecto invernadero, la protección de ecosistemas, mejoría la mejora de la calidad del aire y la disminución de enfermedades respiratorias. Al sustituir, los combustibles fósiles, las energías renovables permiten reducir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes que deterioran el planeta, contribuyendo así no solo a mitigar el cambio climático, sino también a reducir las enfermedades asociadas a la contaminación del aire [31].

V. Conclusiones

Las energías renovables generan una reducción aproximada del 56% en las emisiones de gases de efecto invernadero. Teniendo en cuenta que en Colombia el mayor consumidor de energía es el sector transporte, seguido del sector industrial, la implementación de alternativas de generación eléctrica de tipo renovable traerá consigo grandes beneficios orientados a disminuir la emisión de estos gases.

Por otra parte, Colombia avanza gradualmente en el ajuste de los procesos normativos y en la reglamentación necesaria para llevar a cabo una transición energética segura, de modo que se garantice el acceso al servicio de energía al 100% de la población, incluso en zonas remotas donde aún existen dificultades para acceder al servicio.

Asimismo, se abren oportunidades para continuar investigando y fomentando la creación de prototipos destinados a ser implementados en la industria de generación energética a partir de fuentes renovables, contribuyendo así a los procesos de adaptación y mitigación del cambio climático.

VI. Referencias

- [1] E. Perino, R. Kiesling, A. Silnik, A. Perelló, "Energías renovables y sustentabilidad: una eficiente forma de gestionar los recursos naturales, Revista Digital Universitaria, vol. 22, n° 3, 2021. <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.3.4>
- [2] Banco Mundial, "Energía", 2020. [En línea]. Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview> (accessed Sep. 19, 2022).
- [3] Enerdata, "Estadísticas de consumo energético mundial", 2021. [En línea]. Disponible en <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html> (accessed Sep. 19, 2022).
- [4] International Energy Agency. 2020. [En línea]. Disponible en <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-end-uses-and-efficiency-indicators-data-explorer>
- [5] I. T. Tambari, M. O. Dioha, y P. Failler, "Renewable energy scenarios for sustainable electricity supply in Nigeria", Energy Clim. Chang., vol. 1, p. 100017, 2020. doi: 10.1016/j.egycc.2020.100017.
- [6] G. Liobikienė and M. Butkus, "Determinants of greenhouse gas emissions: A new multiplicative approach analysing the impact of energy efficiency, renewable energy, and sector mix", Journal of Clean. Prod., vol. 309, p. 127233, 2021. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127233.
- [7] R. Janzen, M. Davis, y A. Kumar, "Greenhouse gas emission abatement potential and associated costs of integrating renewable and low carbon energy technologies into the Canadian oil sands", Journal of Clean. Prod., vol. 272, p. 122820, 2020. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122820.
- [8] Y. Chang, Y. Wei, J. Zhang, X. Xu, L. Zhang, y Y. Zhao, "Mitigating the greenhouse gas emissions from urban roadway lighting in China via energy-efficient luminaire adoption and renewable energy utilization", Resour. Conserv. Recycl., vol. 164, p. 105197, 2021. doi: 10.1016/J.RESCONREC.2020.105197.

- [9] M. A. Lima et al., "Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil", *Environ. Dev.*, 33, p. 100504, 2020. doi: 10.1016/J.ENVDEV.2020.100504.
- [10] N. Ghorbani, A. Aghahosseini, y C. Breyer, "Assessment of a cost-optimal power system fully based on renewable energy for Iran by 2050 – Achieving zero greenhouse gas emissions and overcoming the water crisis", *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 125–148, 2020. doi: 10.1016/J.RENENE.2019.06.079.
- [11] J. A. Nieves, A. J. Aristizábal, I. Dyner, O. Báez, y D. H. Ospina, "Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application", *Energy*, vol. 169, pp. 380–397, 2019. doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.12.051.
- [12] D. Rodríguez-Urrego y L. Rodríguez-Urrego, "Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92, pp. 160–170, 2018. Doi: 10.1016/J.RSER.2018.04.065.
- [13] A. Mostafaeipour, A. Bidokhti, M. B. Fakhrzad, A. Sadegheih, and Y. Zare Mehrjerdi, "A new model for the use of renewable electricity to reduce carbon dioxide emissions", *Energy*, vol. 238, p. 121602, 2022. doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.121602.
- [14] J. G. Rueda-Bayona, A. Guzmán, J. J. C. Eras, R. Silva-Casarín, E. Bastidas-Arteaga, y J. Horrillo-Caraballo, "Renewables energies in Colombia and the opportunity for the offshore wind technology", *Journal of Clean. Prod.*, vol. 220, pp. 529–543, 2019, Doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.174.
- [15] Ley 2099 de 2021 - Gestor Normativo - Función Pública. 2021. Congreso de Colombia. [En línea]. Disponible en <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326> (accessed oct. 01, 2022).
- [16] A. Sagastume Gutiérrez, J. J. Cabello Eras, L. Hens, and C. Vandecasteele, "The energy potential of agriculture, agro-industrial, livestock, and slaughterhouse biomass wastes through direct combustion and anaerobic digestion. The case of Colombia," *Journal of Clean. Prod.*, vol. 269, p. 122317, oct. 2020, Doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122317.
- [17] F. López, *Eficiencia energética: clave para un desarrollo sostenible*, 2023.
- [18] M. Aguilar, D. Aguirre y L. Gaona, "Gobernanza del aire: estrategia para el mejoramiento de la calidad del aire en ciudades", *Revista Gestión y Ambiente*, vol. 24 N° 3, 2021.
- [19] M. Romero, F. Olite y M. Álvarez, "La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud", *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 44, N° 2, 2017.
- [20] E. Velasco, A. Retama, "La contaminación del aire: un problema de salud pública", *Universitarios Potosinos*, pp. 12-17, 2019.
- [21] M. Gavito, et al., "Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México", *Rev. Mex. Biodiv.* vol. 88, 2017.
- [22] C. Torres, *Análisis de los efectos del Crecimiento Económico sobre la Calidad Ambiental. Evidencia empírica para el caso de Colombia de 1970 – 2012*, [Tesis de grado], Universidad del Norte, Barranquilla, 2019.
- [23] X. Labandeira, P. Linares y K. Würzburg, "Energías renovables y cambio climático", *Cuaderno Económicos de ICE*, VOL. 83, pp. 37-60, 2012.
- [24] W. Palacios, A. Caicedo y N. Calixto, *Energías Renovables. El camino hacia la sostenibilidad energética*, Santander, 2023.

- [25] G. Sanmartí y C. Romeva, (2022). Transición energética y la sostenibilidad de las grandes ciudades”, *CienciAmérica*, vol. 11, n° 2, pp. 11-30, 2022. <https://doi.org/10.33210/ca.v11i2.392>.
- [26] L. Amezcuita y J. Cepeda, “Energía eólica, una alternativa ambientalmente sostenible desde el Ejército Nacional de Colombia”, *Revista Brújula*, vol. 9, N° 17, pp. 48-66, 2021.
- [27] J. Quintero y L. Quintero, “Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano”, *Revista Gestión y Ambiente*, vol. 18, N° 1, pp. 179-188, 2015.
- [28] Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación, Cambio climático 2021: La base científica física, Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge University, 2021. ISBN 978-92-9169-358-0
- [29] I. Mercadal, “Desafíos regulatorios en la incorporación de energías renovables”, Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, Research Department working papers, 2023.
- [30] E. Pica, E. Sauma, “Los desafíos de la utilización de energías renovables no convencionales intermitentes”, *Revista Temas de la Agenda Pública*, vol. 10, N° 81, 2015.
- [31] D. Urbano, G. Beltrán y A. Roldan, *Energías renovables en Colombia: viabilidad, desarrollo y potencial de implementación para la diversificación de la matriz energética del país*, [Tesis de grado], Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2023.