

**Comparación del desarrollo de las energías renovables entre España y Colombia: una
perspectiva hacia la sostenibilidad energética**

Jessica Andrea Figueroa Carvajal

Asesor

Luis Alejandro Duarte Rodríguez

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD

Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente ECAPMA

Ingeniería Ambiental

2026

Dedicatoria

A Dios, por darme la fuerza, la claridad y la constancia para llegar hasta este momento.

A mis padres Sandra y Ramiro, y mi abuela Emilse, que han sido mi soporte más firme y mi motivación más grande. Su amor, su paciencia y su fe en mí me acompañaron en cada paso de este camino.

A quienes me recordaron que incluso cuando el camino se hace largo, siempre vale la pena avanzar.

Y a todos aquellos quienes han creído en mis sueños, incluso cuando parecían lejanos, les dedico este trabajo con profundo cariño y gratitud.

Agradecimientos

Agradezco primero a Dios, por iluminarme, sostenerme y darme la serenidad necesaria para superar cada desafío durante este proceso.

A mi familia, por su apoyo incondicional, su comprensión en los momentos de cansancio y su presencia constante, aun en la distancia.

A mis profesores y tutores, en especial a Luis Alejandro Duarte Rodríguez por su orientación académica, por exigirme un pensamiento más crítico y por guiarme con profesionalismo y dedicación.

A mis amigos y compañeros, que con sus palabras, su compañía y su buen humor hicieron que este camino fuera más ligero.

Finalmente, agradezco a todas las personas, instituciones y fuentes que contribuyeron de manera directa o indirecta a la realización de esta monografía. Este logro también es de ustedes.

Resumen

Esta monografía analiza el desarrollo de las energías renovables en España y Colombia con el fin de identificar aprendizajes útiles para fortalecer la transición energética colombiana. Se empleó una metodología descriptiva-comparativa basada en informes oficiales, estadísticas energéticas y marcos regulatorios, complementada con tablas y gráficos que sintetizan el avance tecnológico y los impactos asociados en cada país. Los resultados evidencian que España ha consolidado una matriz diversificada, con liderazgo de la energía eólica y solar fotovoltaica, apoyada en una planificación estable, incentivos regulatorios y una infraestructura eléctrica robusta. En el caso colombiano, persiste una dependencia estructural de la hidroelectricidad, aunque en los últimos años se observa un aumento significativo de la capacidad solar y eólica. La comparación muestra que España puede servir como modelo parcial -no total- dada la diferencia de contextos, pero ofrece lecciones valiosas en planificación, diversificación tecnológica y participación comunitaria.

Palabras clave: Energía, renovables, transición, sostenibilidad, regulación.

Abstract

This monograph examines the development of renewable energies in Spain and Colombia to identify lessons that can support the strengthening of Colombia's energy transition. A descriptive-comparative methodology was applied, drawing on official reports, energy statistics, and regulatory frameworks, complemented by tables and charts that synthesize technological advances and associated impacts in each country. The findings show that Spain has consolidated a diversified energy mix, led by wind and solar photovoltaic power, supported by stable planning, regulatory incentives, and a robust electrical infrastructure. In contrast, Colombia continues to exhibit structural dependence on hydropower, although recent years have seen significant growth in solar and wind capacity. The comparative analysis indicates that Spain can serve as a partial -though not complete- reference model, given the different socio-environmental contexts, but provides valuable insights in long-term planning, technological diversification, community participation, and the strengthening of energy value chains.

Keywords: Energy, renewable, transition, sustainability, regulation.

Tabla de Contenido

Introducción	11
Planteamiento del Problema	14
Justificación	17
Objetivos.....	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos.....	19
Marco Conceptual.....	20
Energía Renovable	20
Transición Energética	20
Clasificación de Fuentes	20
Fuentes no Renovables	20
Fuentes Renovables	21
Impacto Ambiental.....	21
Eficiencia Energética	21
ODS 7.....	22
Metodología	23
Diseño de Investigación.....	23
Fuentes de Información.....	23
Técnicas de Análisis	24
Limitaciones del Estudio.....	24
Panorama Actual de las Energías Renovables en España.....	26
Contexto de la Matriz Energética Española.....	26

Principales Fuentes de Energía Renovable en España.....	27
Impacto Ambiental y Sostenibilidad.....	36
Impacto Económico y Social	40
Marco Regulatorio y Políticas Claves.....	42
Casos de Éxito e Innovaciones Tecnológicas	44
Caso 1: Hibridación de Parques Eólico–Fotovoltaicos.....	44
Caso 2: Almacenamiento a Gran Escala y Proyectos de Hibridación Sobrenumerarios.....	44
Caso 3: Planta de Hidrógeno Verde “Hysencia” en Aragón, España.	45
Caso 4. Planta Solar Fotovoltaica Núñez de Balboa.	45
Caso 5. Parque Eólico El Escudo.....	45
Caso 6. Planta de Hidrógeno Verde de Puertollano.....	45
Panorama Actual de las Energías Renovables en Colombia	47
Contexto de la Matriz Energética Colombiana.....	47
Principales Fuentes de Energía Renovable en Colombia	48
Impacto Ambiental y Sostenibilidad.....	56
Impacto Económico y Social	59
Marco Regulatorio y Políticas Claves.....	62
Casos de Éxito e Innovaciones Tecnológicas	64
Caso 1. Parque Solar La Loma (Cesar).....	64
Caso 2. Parque Solar Guayepo I & II/III (Atlántico).....	64
Caso 3. Celsia Solar Palmira 2 + BESS (Valle del Cauca).....	65
Caso 4. Electrificación en Zonas No Interconectadas (ZNI): Microredes FV + Baterías y Acceso Social.....	65

Caso 5. Hidrógeno Verde (Cartagena).....	65
Caso 6. Cogeneración con Biomasa (Ingenios Azucareros del Valle).....	65
Análisis y Discusión de Hallazgos.....	67
Comparación del Potencial Natural y Disponibilidad de Recursos entre España y Colombia.	67
Comparación del Desarrollo Tecnológico en España y Colombia	72
Comparación de Políticas y Marcos Regulatorios en España y Colombia.....	74
Comparación del Impacto Ambiental y Sostenibilidad entre España y Colombia.....	76
Comparación del Impacto Económico y Social entre España y Colombia	81
Lecciones de España Aplicables a Colombia	84
Conclusiones	87
Recomendaciones	91
Bibliografía	92

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Comparación del Potencial Natural y Disponibilidad de Recursos Renovables en España y Colombia</i>	67
Tabla 2 <i>Condiciones Geográficas y Climáticas Relevantes para el Desarrollo Renovable en España y Colombia</i>	69
Tabla 3 <i>Comparación de Impactos Ambientales Asociados a la Expansión de Energías Renovables en España y Colombia</i>	78

Lista de Figuras

Figura 1 Participación de las Fuentes de Generación Eléctrica en España (2024).....	28
Figura 2 Mapa de los Principales Parques Eólicos en España y su Distribución Territorial.....	29
Figura 3 Mapa de Distribución de las Placas Solares en España.....	31
Figura 4 Distribución Geográfica de las Instalaciones Hidroeléctricas en la Península al 31 de Diciembre de 2023	33
Figura 5 Expansión y Distribución de la Irradiación Solar en España	35
Figura 6 Composición del Mix de Generación Eléctrica en España	37
Figura 7 Huella Hídrica Media de Distintas Fuentes de Generación Eléctrica.	39
Figura 8 Distribución de Hidroeléctricas en Colombia	49
Figura 9 Ubicación Proyectos FNCER Entregando Energía al SIN a Diciembre de 2023	51
Figura 10 Mapa de Recurso Solar: Potencial Fotovoltaico en Colombia.....	53
Figura 11 Ubicación de Parques Eólicos en La Guajira, Colombia	55
Figura 12 Exportaciones Según Grupos de Productos (Millones de USD).....	61
Figura 13 Comparación de la Capacidad Instalada por Tecnologías en España y Colombia	72

Introducción

En la actualidad, la materia energética se encuentra en proceso de transformación, impulsado en mayor medida por la necesidad urgente de mitigar los efectos del cambio climático y reducir la dependencia del combustible. Por ello, las energías renovables se han convertido en un pilar esencial para alcanzar un desarrollo sostenible y garantizar la seguridad energética de los países a largo plazo (IRENA, 2020).

Según Eurostat (2025), la producción, distribución y consumo de energía ha presentado múltiples transformaciones en los últimos años, llegando a desdibujarse lo que con anterioridad se creía un camino lineal (producción de combustibles fósiles, dependencia de importaciones, uso de combustibles tradicionales). Sin embargo, debido al creciente reconocimiento del cambio climático como un problema prioritario a nivel global, junto a la demanda social y los avances tecnológicos que se han desarrollado a favor de energías más limpias, las fuentes renovables han pasado de ser una alternativa a una realidad esencial (European Environment Agency, 2025). La energía solar, hidroeléctrica, eólica, entre otras fuentes, ya no forman sólo “parte” del sistema funcional de energía, también se han integrado como “centro” de los nuevos modelos energéticos globales.

No obstante, el proceso de adopción y consolidación de las energías renovables no se desarrolla de manera uniforme en todos los territorios. En el contexto europeo, diversos países han impulsado políticas públicas, mecanismos de financiamiento y marcos regulatorios que favorecen la expansión de estas fuentes energéticas, permitiendo avances notables en descarbonización y diversificación de la matriz energética (European Environment Agency, 2025). Por su parte, América Latina posee un notable potencial debido a su riqueza en recursos naturales -alta radiación solar, regímenes de viento favorables y disponibilidad hídrica-; sin

embargo, enfrenta limitaciones estructurales tales como la escasez de inversión, infraestructura insuficiente y sistemas eléctricos centralizados. Estas diferencias en las capacidades institucionales y de desarrollo tecnológico hacen relevante el análisis comparativo entre regiones y países con trayectorias contrastantes (J.P. Morgan, s.f).

En este sentido, España y Colombia representan dos casos que permiten una lectura comparativa particularmente enriquecedora. España ha logrado consolidarse como referente europeo en la integración de energías renovables, avanzando en la diversificación de su matriz energética, reduciendo su dependencia de combustibles fósiles e impulsando políticas estables y mecanismos eficientes de apoyo a la generación renovable (REE, 2024). Colombia, por otro lado, cuenta con un potencial energético excepcional derivado de sus condiciones geográficas y climáticas; sin embargo, dicho potencial no se ha traducido de manera equivalente en términos de capacidad instalada o diversificación en su sistema energético; diferencias que no deben interpretarse como una brecha insuperable, sino como una oportunidad de aprendizaje estratégico (UPME, 2024).

El interés de esta monografía radica no solo en comparar cifras o niveles de desarrollo tecnológico, sino en comprender los factores institucionales, regulatorios, económicos y territoriales que han permitido el avance de un país frente a otro. Examinar qué instrumentos de política pública, qué modelos de inversión y qué dinámicas de planificación energética han sido efectivas en el caso español y que pueden ofrecer insumos valiosos para fortalecer el proceso de transición energética en Colombia. En este sentido, el estudio busca identificar aprendizajes adaptables, priorizando modelos ajustables al contexto nacional.

No obstante, el estudio presenta ciertas limitaciones que deben considerarse. En primer lugar, la disponibilidad de información actualizada sobre proyectos y políticas energéticas en

Colombia puede verse restringida por la falta de registros homogéneos o bases de datos oficiales con periodicidad constante. Asimismo, la comparación entre dos contextos nacionales tan diferentes implica reconocer la influencia de factores sociopolíticos, económicos y culturales que pueden dificultar la extrapolación directa de resultados. Finalmente, el análisis no profundiza en aspectos técnicos de ingeniería energética, centrándose principalmente en las dimensiones económicas, ambientales y regulatorias del fenómeno. A pesar de estos puntos, el trabajo conserva un valor sustantivo como aporte académico y práctico a la comprensión del desarrollo sostenible y la seguridad energética regional.

La presente monografía se organiza de la siguiente manera: en primera parte, se desarrolla el marco conceptual y contextual necesario para comprender la transición energética y la relevancia de las energías renovables en el escenario global. En segundo lugar, se presenta el estudio de caso de España, abordando la estructura de su matriz energética, las fuentes renovables predominantes, los efectos ambientales y socioeconómicos de su transición, el marco normativo que la sustenta y los principales avances tecnológicos e innovaciones implementadas. Seguidamente, se analiza la situación de Colombia, incluyendo su matriz energética actual, su potencial renovable, las políticas públicas orientadas al sector, los desafíos persistentes y las oportunidades emergentes. Finalmente, se realiza un análisis comparativo entre ambos países, orientado a identificar similitudes, diferencias y potenciales áreas de cooperación, para concluir con una serie de recomendaciones estratégicas destinadas a fortalecer la transición energética en Colombia desde una perspectiva sostenible y de largo plazo.

Planteamiento del Problema

En las últimas décadas, se ha logrado evidenciar las consecuencias ecológicas y ambientales que acarrea el uso del carbón, petróleo y otros recursos energéticos que poseen alto contenido de carbono. El uso intensivo de estos elementos es la razón principal del cambio climático a nivel mundial. Por ello, la descarbonización energética es vital para mantener el aumento de las temperaturas globales con los objetivos establecidos en el Acuerdo de París. Esto significa, aumentar la proporción de energías renovables al 65% del suministro de energía primaria del mundo para 2050, frente al 39% que se proyectó en el año 2019 (Smil, 2020).

Según la Organización de las Naciones Unidas (2022), la electricidad generada por fuentes renovables podría cubrir hasta el 65 % del suministro eléctrico mundial para 2030, y permitir descarbonizar hasta el 90 % del sector eléctrico para 2050. En este escenario, las energías limpias como la solar, la eólica y la hidroeléctrica se consolidan como alternativas viables y competitivas frente a las fuentes tradicionales.

A nivel internacional, la transición hacia fuentes renovables ha adquirido diferentes velocidades según la capacidad tecnológica, la infraestructura existente y las políticas de cada país. Europa ha sido pionera en este proceso, impulsando marcos normativos y programas de inversión que han consolidado una matriz energética más limpia. En contraste, América Latina avanza de forma más gradual, condicionada por desigualdades estructurales, limitaciones de financiamiento y una dependencia histórica de los recursos fósiles.

Por ejemplo, un análisis reciente de la International Renewable Energy Agency (IRENA) señala que la capacidad instalada mundial de energías renovables aumentó en 585 GW en 2024, lo que representó un crecimiento anual del 15,1 % y evidenció que el 92,5 % de la nueva capacidad añadida provino de fuentes renovables (IRENA, 2025). Esta diferencia en ritmos y

capacidades refuerza la pertinencia de escoger casos contrastantes como España y Colombia: el primero, por su éxito en diversificar la matriz energética y reducir su dependencia del petróleo y el gas; y el segundo, por su enorme potencial de recursos naturales que aún no ha sido plenamente aprovechado.

España se ha posicionado como un referente europeo en materia de energías renovables, destacando en la producción de energía eólica y solar, así como en la implementación de políticas de transición energética integradas a los objetivos de la Unión Europea. Según la Red Eléctrica de España (REE, 2024), la generación renovable alcanzó 148.999 GWh, lo que equivalía al 56.8% del mix eléctrico, un récord que demuestra cómo la combinación de voluntad política, inversión en innovación y participación del sector privado puede acelerar de manera significativa el cambio hacia un modelo energético sostenible.

Por otro lado, Colombia se encuentra en una etapa de consolidación de su marco regulatorio y de fortalecimiento institucional para la adopción de energías limpias. Si bien el país cuenta con una matriz mayoritariamente hidroeléctrica, las fuentes no convencionales -como la solar, la eólica y la biomasa- todavía representan una fracción reducida del total. Según el Departamento Nacional de Planeación (2024), la capacidad instalada en el país es de 19.9 GW, de los cuales las fuentes hidroeléctricas abarcaban un 66%, con una capacidad instalada de 13.2GW; datos que explican la baja participación actual de fuentes no convencionales a comparación de otros países que sí han logrado diversificar su mix.

Sin embargo, los desafíos para Colombia no se limitan al plano técnico. Este territorio enfrenta constantes desafíos que aseguran una matriz de energía confiable, asequible y amigable con su ambiente. Según López et al. (2020), en el país se hallan proporciones bajas entre las reservas existentes y la producción de petróleo y gas que se lleva a cabo, aspecto que pone en

riesgo el sistema energético colombiano. Además, su enfoque hidroeléctrico también representa un punto vulnerable en su sistema energético, debido a patrones climáticos extremos como El Niño. Aunque fuentes energéticas renovables (energía solar y eólica) hacen parte de la transformación entrante que se lleva a cabo en el país, su implementación sigue presentando oportunidades y aspectos por mejorar.

Como lo menciona Rico (2024), una de las principales barreras es la complejidad de los trámites administrativos y regulatorios, que pueden ralentizar el desarrollo de proyectos de energía renovable. Además, la intermitencia inherente de fuentes como la solar y la eólica requiere soluciones de almacenamiento eficientes para garantizar un suministro constante. Aunque se están desarrollando tecnologías de almacenamiento, su implementación aún enfrenta desafíos significativos (Caixa Rural Gallega, 2024).

En contraposición, España ha logrado superar varios de estos obstáculos a través de una planificación de largo plazo y una estrategia estatal coherente con sus compromisos internacionales; sólo en 2024, el 56% de la electricidad producida en el país provino de fuentes renovables, superando el 50% alcanzado en 2023 (Noya, 2025). Esta diferencia plantea una oportunidad para que Colombia estudie las políticas y mecanismos que han impulsado la transformación energética española, adaptándolos a sus condiciones sociales, económicas y geográficas.

Por lo anterior, surge la siguiente pregunta problema: ¿Cuáles son los avances y retos en el desarrollo de las energías renovables en España y Colombia, y de qué manera sus políticas, marcos regulatorios y contextos energéticos han influido en sus procesos de transición hacia una matriz energética más sostenible?

Justificación

El progreso de las energías renovables es, en la actualidad, una prioridad a nivel global, debido al creciente cambio climático, la urgencia por disminuir la mayor cantidad de emisión de gases de efecto invernadero, así como la necesidad de brindar garantías en cuanto a la seguridad energética a largo plazo. Por esto, comprender los diferentes modelos de transición energética desarrollado por distintos países adquiere una relevancia fundamental, pues permite la identificación de estrategias efectivas, adaptables y sostenibles en el tiempo.

España y Colombia son dos países con trayectorias significativas para este análisis: el primero ha alcanzado a consolidar una matriz energética amplia y diversificada basada en fuentes renovables, mientras que el segundo posee un alto potencial, aún en proceso de desarrollo y reforzamiento. Por esta razón, esta monografía busca realizar un análisis de las estrategias planteadas en ambos casos, identificando las barreras y las oportunidades de mejora en la industria colombiana a fin de promover el uso de estas tecnologías en el contexto nacional y, de igual manera, generar un impacto a nivel económico, social y ambiental.

Desde un punto de vista ambiental, la transición hacia energías renovables se hace necesaria para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar los efectos de calentamiento global. Analizar el caso de España, permite evidenciar cómo la implementación gradual de estas matrices contribuye a disminuir las emisiones tóxicas, fortalecer la resiliencia del sistema frente a posibles crisis climáticas y promover tecnológicas de bajo impacto ambiental. Para Colombia, un país con alta vulnerabilidad climática y fuerte dependencia hidroeléctrica, comprender estos procesos es esencial para avanzar hacia la integración de una matriz más equilibrada y menos expuesta a fenómenos como sequías prolongadas.

Asimismo, mediante esta monografía se busca tener una relevancia a nivel social, al brindarle a la población, un insumo para la selección correcta de tecnologías para la generación de energías renovables, a partir de la identificación previa de las barreras u oportunidades que se presentan para su aplicación, lo cual puede incentivar el uso de estas energías en el territorio colombiano.

A nivel académico, esta investigación pretende atender a la necesidad de establecer en la literatura un punto de comparación entre las diferentes tecnologías para la generación de Energías Renovables. Este documento constituye entonces un aporte teórico, al ser un estudio que lleva a cabo un esquema de evaluación de diferentes matrices energéticas, de acuerdo con criterios enmarcados en los ejes de sostenibilidad: económica, ambiental y social.

Este estudio aporta a la comprensión interdisciplinar del fenómeno energético, integrando dimensiones institucionales y tecnológicas. Además, contribuye a la formación de criterios analíticos para evaluar la transición energética desde una perspectiva comparada y contextualizada, lo cual es fundamental para la formulación de políticas públicas, la investigación universitaria y la toma de decisiones informadas en el ámbito social y comunitario.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el desarrollo de las energías renovables en España y Colombia bajo un enfoque comparativo, con el fin de identificar avances y retos en sus procesos de transición hacia la sostenibilidad energética.

Objetivos Específicos

Describir la composición y evolución reciente de la matriz energética de España y Colombia, detallando la participación de fuentes renovables y no renovables dentro de sus sistemas de generación.

Examinar el marco normativo, las políticas públicas y los instrumentos institucionales que impulsan la adopción de tecnologías limpias en ambos contextos nacionales.

Comparar los alcances y limitaciones de la transición energética en ambos países, determinando lecciones aprendidas y oportunidades de mejora en términos de diversificación y seguridad energética.

Marco Conceptual

Energía Renovable

Las energías renovables son aquellas fuentes de energía que se regeneran de manera natural y constante, y que, por lo tanto, son inagotables a escala humana. Incluyen la energía solar, eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica y marina. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2020), estas fuentes se reponen de manera natural y tienen un impacto ambiental mínimo en comparación con los combustibles fósiles.

Transición Energética

La transición energética se entiende como el proceso histórico mediante el cual las sociedades modifican la estructura de su sistema energético, reemplazando gradualmente fuentes de energía intensivas en carbono por fuentes renovables de menor impacto ambiental. Este proceso implica transformaciones tecnológicas, económicas, institucionales y culturales que afectan tanto la generación como el consumo de energía (Geels et al., 2017).

Clasificación de Fuentes

Las fuentes de energía se clasifican según su disponibilidad y características de regeneración:

Fuentes no Renovables

Son aquellas cuya disponibilidad es limitada en el tiempo, ya que se encuentran en reservas naturales y se agotan con su uso. Entre ellas se incluyen el carbón, el petróleo y el gas natural. Estas fuentes se caracterizan por su alto contenido de carbono y su contribución significativa a las emisiones globales de dióxido de carbono (IPCC, 2022).

Fuentes Renovables

Son recursos energéticos que se regeneran de manera natural y continua en escalas de tiempo humanas, como la radiación solar, el viento, los flujos hídricos, la biomasa y el calor interno de la Tierra. Las energías renovables presentan ventajas como la reducción de emisiones y la diversificación de la matriz energética; sin embargo, algunas presentan variabilidad temporal y requieren sistemas de almacenamiento o respaldo (Twidell & Weir, 2015).

Dentro de estas se distingue:

- Energía solar: basada en la radiación solar convertida en energía térmica o eléctrica.
- Energía eólica: obtenida por el movimiento del aire.
- Hidroeléctrica: generada por el movimiento del agua.
- Biomasa: proveniente de materia orgánica.
- Geotérmica: energía del calor interno terrestre.

Impacto Ambiental

El impacto ambiental se refiere a los efectos que una actividad o proyecto tiene sobre el medio ambiente, incluyendo cambios en la calidad del aire, agua, suelo, biodiversidad y salud humana. La evaluación de impacto ambiental es una herramienta clave para identificar, predecir y mitigar estos efectos antes de la implementación de proyectos energéticos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

Eficiencia Energética

La eficiencia energética se define como la relación entre la cantidad de energía utilizada en una actividad y la energía total invertida en dicha actividad. Mejorar la eficiencia energética

implica utilizar menos energía para proporcionar el mismo servicio o producto, lo que contribuye a la reducción de costos y emisiones (Comisión Europea, 2022).

ODS 7

El ODS 7, establecido en la Agenda 2030 de Naciones Unidas, busca garantizar el acceso universal a energía segura, asequible, sostenible y moderna para 2030. Este objetivo está estructurado en varias metas, entre ellas: ampliar significativamente la proporción de energías renovables, mejorar la eficiencia energética y fortalecer la cooperación internacional para el desarrollo de tecnología energética limpia (ONU, 2015).

Metodología

La metodología utilizada en este estudio sigue un enfoque cualitativo y exploratorio, basado en la recopilación y análisis de fuentes secundarias. Este enfoque permite comprender a profundidad el estado actual de las energías renovables en España y Colombia, así como los desafíos y oportunidades que enfrenta cada territorio. Según Flick (2018), la metodología cualitativa es ideal para analizar fenómenos complejos desde diferentes perspectivas y contextos. Por su parte, la investigación exploratoria se enfoca en la recopilación de información, identificación de antecedentes generales y aspectos relevantes del objeto de estudio que no pretenden dar explicación, sino brindar una visión general y aproximativa de dicho objeto. (Bernal et al., 2014).

Diseño de Investigación

Este estudio adoptó un diseño de investigación documental, el cual se fundamenta en la recopilación, selección y análisis crítico de fuentes académicas, informes gubernamentales y documentos institucionales. Según Yin (2018), los estudios de caso documentales permiten una comprensión más profunda de los procesos políticos, económicos y ambientales que influyen en la implementación de energías renovables.

Fuentes de Información

Para la recolección de datos, se utilizaron fuentes secundarias provenientes de:

- **Informes Gubernamentales:** Publicaciones del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España, la Agencia Internacional de Energía (IEA) y la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA).

- **Artículos Académicos:** Estudios publicados en revistas indexadas como *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Energy Policy* y *Journal of Cleaner Production*.

- **Bases de Datos Científicas:** Scopus, Web of Science y Google Scholar.
- **Estudios de Caso:** Proyectos de energía renovable en España y Colombia, incluyendo la planta solar de Gemasolar, los parques eólicos de Castilla y León y el desarrollo de hidrogeno verde en Puertollano.

Técnicas de Análisis

Los datos recopilados fueron analizados mediante técnicas de análisis de contenido y comparación de casos. Krippendorff (2019) destaca que el análisis de contenido permite identificar patrones y tendencias en documentos escritos, facilitando la interpretación de la información. Además, se aplicó un análisis comparativo entre España y Colombia. Este tipo de análisis permite evaluar las diferencias en políticas públicas, estrategias de financiamiento y tecnologías utilizadas (Bryman, 2021).

Limitaciones del Estudio

A pesar de la rigurosidad del análisis, este estudio presenta algunas limitaciones:

- **Dependencia de fuentes secundarias:** La investigación se basa en datos previamente publicados, lo que puede limitar la capacidad de evaluar información reciente y en desarrollo.
- **Variabilidad en las políticas energéticas:** Dado que la transición energética está en constante evolución, algunas políticas y regulaciones pueden cambiar rápidamente.

- **Falta de acceso a datos internos:** Algunas fuentes de información detallada sobre proyectos de energía renovable son de acceso restringido, lo que impide un análisis más exhaustivo.

Panorama Actual de las Energías Renovables en España

Contexto de la Matriz Energética Española

La matriz energética española ha experimentado una profunda transformación durante las dos últimas décadas, marcada por una apuesta decidida hacia la sostenibilidad, la seguridad energética y la descarbonización. Este cambio se ha visto impulsado tanto por los compromisos internacionales adquiridos en el marco de la Unión Europea como por las propias estrategias nacionales que promueven la eficiencia y la diversificación de fuentes. España, que durante años dependió en gran medida de los combustibles fósiles y las importaciones energéticas, ha avanzado hacia un modelo en el que las energías renovables ocupan un papel protagónico en la generación eléctrica y en la estructura de consumo energético.

En este contexto, el país ha logrado consolidarse como uno de los referentes europeos en la transición hacia fuentes limpias. De acuerdo con datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), el proceso de transformación del sistema energético español responde a objetivos concretos de reducción de emisiones, incremento de la participación de renovables y fomento del autoconsumo y la digitalización del sistema. España se ha propuesto alcanzar la neutralidad climática en 2050, de acuerdo con la Ley de Cambio Climático y Transición Energética (2021), y reducir al menos un 55 % sus emisiones de gases de efecto invernadero para 2030.

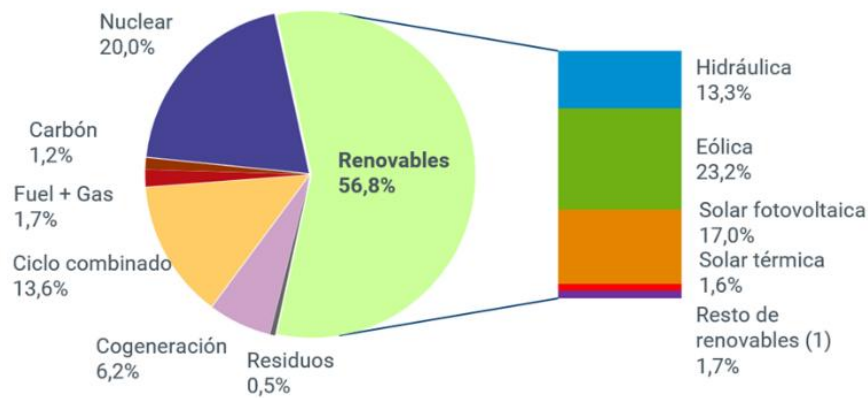
Según la Red Eléctrica de España (REE), en 2024 las energías renovables generaron el 56% de la electricidad total del sistema peninsular, alcanzando un nuevo récord histórico y el mayor nivel desde que se recopilan datos. Este crecimiento se debe principalmente a la expansión de la energía eólica y fotovoltaica, las cuales han desplazado progresivamente a las fuentes convencionales como el carbón y el gas natural. En términos de capacidad instalada, las

tecnologías renovables representaron el 66 % del total del sistema eléctrico español a finales de 2024, lo que demuestra un cambio estructural en la base de generación nacional.

A comienzos de 2025, España registró un hito a resaltar: la energía solar fotovoltaica se posicionó como la fuente con mayor capacidad instalada, alcanzando los 32 043 MW y superando por primera vez a la energía eólica. Este avance refleja el impacto de las políticas públicas de fomento a la inversión, las mejoras tecnológicas y la reducción de los costos de producción. A su vez, la integración de estas fuentes al sistema eléctrico ha impulsado la necesidad de fortalecer las infraestructuras de almacenamiento y las interconexiones internacionales, pilares fundamentales para garantizar la estabilidad de un modelo energético cada vez más dependiente de variables naturales como la radiación solar, la velocidad del viento y los regímenes hidrológicos.

Principales Fuentes de Energía Renovable en España

España se ha consolidado como uno de los referentes europeos en la integración de energías renovables dentro de su matriz energética. Las fuentes eólica, solar, hidroeléctrica y, en menor medida, la biomasa, constituyen los pilares fundamentales de su modelo de transición energética. Según la Red Eléctrica de España (REE, 2025), durante el año 2024 las energías renovables representaron el 56,8 % de la generación eléctrica total, alcanzando un nuevo récord histórico impulsado principalmente por la energía eólica y solar fotovoltaica.

Figura 1*Participación de las Fuentes de Generación Eléctrica en España (2024)***Estructura de generación de energía eléctrica (%) en 2024 en España**

(1) Incluye biogás, biomasa, geotérmica, hidráulica marina, hidroeólica y residuos renovables.

Nota. El gráfico representa la estructura de la energía eléctrica en porcentaje en España en el año 2024.

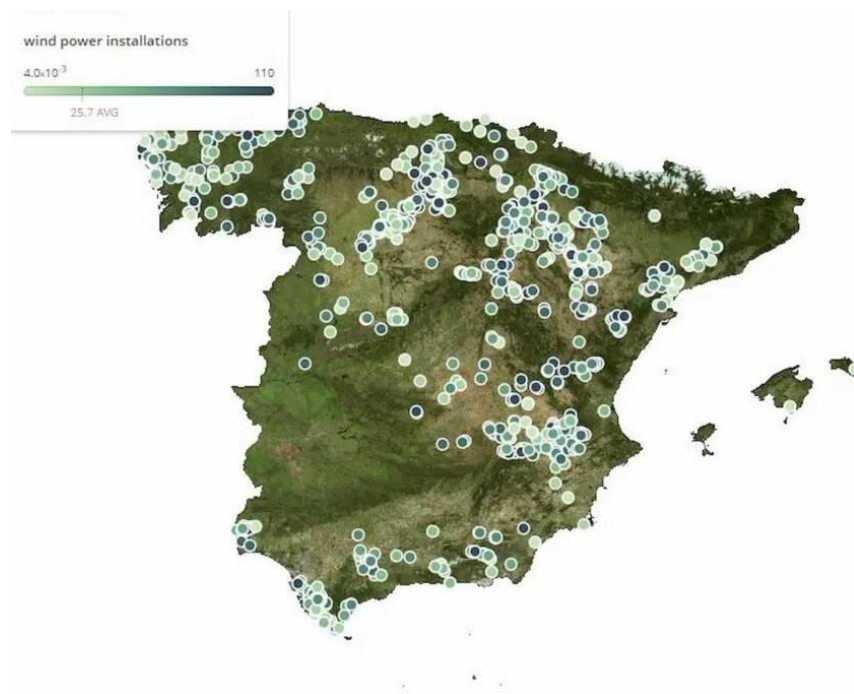
Tomado de *Electricity generation from renewable energies in Spain grows by 10.3% in 2024, reaching record levels*, por Red Eléctrica de España, 2025.

Como se puede apreciar en la Figura 1, dentro del panorama energético de 2024, España volvió a consolidar el liderazgo de la energía eólica dentro de su matriz de generación eléctrica. De acuerdo con Red Eléctrica de España (2025), esta fuente representó cerca del 23 % del total de la producción nacional, destacándose como la tecnología renovable con mayor participación en el sistema.

Según la Asociación Empresarial Eólica (AEE, 2024), el país cuenta con 1.273 parques eólicos en operación, que en conjunto alcanzan una capacidad instalada de 29.048 MW. Este desarrollo ha posicionado a España entre los principales referentes mundiales en producción eólica, concentrando alrededor del 21 % de la capacidad instalada de toda la Unión Europea.

Figura 2

Mapa de los Principales Parques Eólicos en España y su Distribución Territorial



Nota. El gráfico representa los principales parques eólicos en España. Tomado de *Parques eólicos en España*, por Energía Evolucionada (s.f).

Como se puede apreciar en la Figura 2, la generación eólica se distribuye de manera diversa a lo largo del territorio español, con mayor presencia en las regiones que cuentan con condiciones climáticas y topográficas favorables. En particular, Castilla y León lidera con 490 parques y una potencia de 6.682 MW, seguida de Castilla-La Mancha con 272 parques (5.041 MW) y Galicia con 264 parques (4.674 MW). También destacan Aragón (140 parques; 2.626 MW) y Andalucía (126 parques; 2.424 MW), lo que evidencia una planificación territorial equilibrada y un aprovechamiento óptimo del recurso eólico (AEE, 2024).

En conjunto, estos datos confirman que la energía eólica constituye una de las principales fuentes renovables del país, junto con la solar fotovoltaica y la hidroeléctrica, conformando un

modelo de diversificación energética que ha contribuido significativamente a la reducción de emisiones y al fortalecimiento de la autonomía energética nacional (REE, 2025).

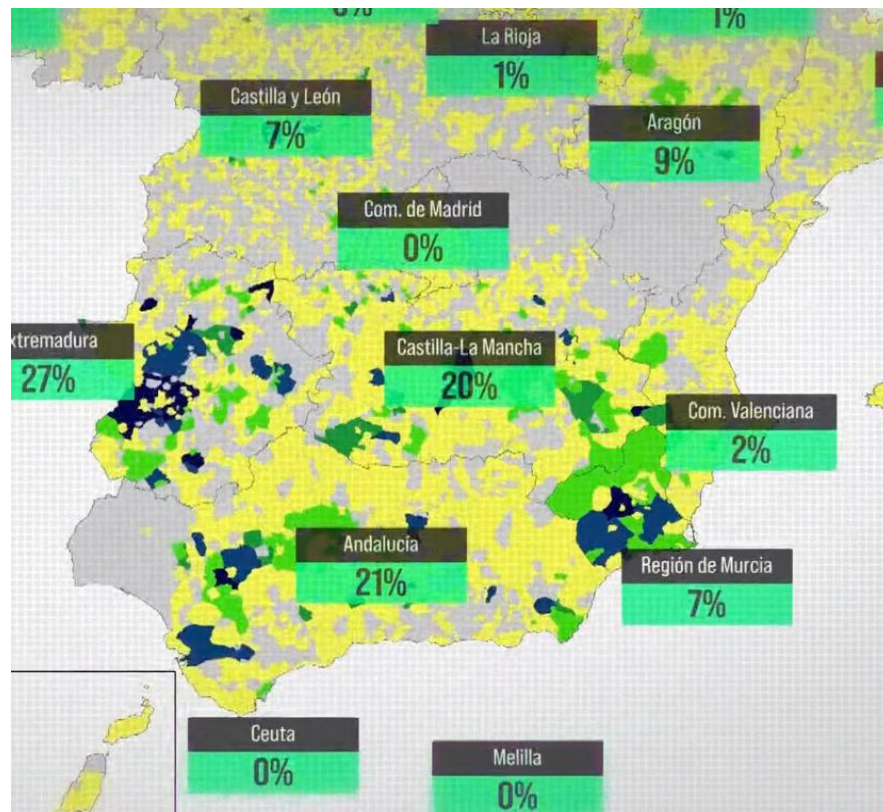
Sin embargo, la tecnología eólica en España a pesar de ser una de las fuentes principales de energía en el país, también enfrenta obstáculos estructurales que podrían comprometer su capacidad para alcanzar los objetivos previstos de cara a 2030. A pesar de contar con cerca de 30 GW instalados, el ritmo de nuevas incorporaciones es muy lento, con sólo unos cientos de megavatios añadidos recientemente, lo que contrasta con la necesidad de instalar varios gigavatios por año para cumplir la meta de unos 62 GW estimados para esa fecha (Reuters, 2024).

En segundo lugar, se encuentra la energía solar fotovoltaica, la cual ha sido uno de los fenómenos más relevantes del panorama energético reciente. Retomando la información brindada por la Figura 1, esta tecnología alcanzó una participación aproximada del 17 % en la matriz eléctrica nacional, logrando por primera vez superar al ciclo combinado y situándose como la tercera fuente de generación en el país, solo por detrás de la energía eólica e hidráulica (REE, 2025). Este avance representa un récord histórico de generación, con cerca de 45 TWh producidos en el año.

El desarrollo de la energía solar se ha visto impulsado por la alta radiación solar del sur y sureste peninsular, el crecimiento del autoconsumo residencial e industrial y la ampliación de grandes parques solares a escala utilitaria. De acuerdo con datos del Global Energy Monitor (2024), España cuenta con aproximadamente 29,5 GW de capacidad instalada y 7,8 GW adicionales en construcción, lo que consolida su posición como uno de los principales mercados solares de Europa.

Figura 3

Mapa de Distribución de las Placas Solares en España



Nota. Captura de pantalla del video “El mapa de las placas solares en España: cuando el beneficio empresarial prima sobre el impacto medioambiental” por La Sexta, (2023).

Como puede evidenciarse en la Figura 3, a nivel territorial, la producción se concentra principalmente en Extremadura y Andalucía, regiones que en conjunto aportan cerca del 48 % de toda la generación solar nacional, gracias a su disponibilidad de suelo, irradiación elevada y políticas regionales de fomento. En total, se estima la existencia de unas 3.500 plantas fotovoltaicas operativas distribuidas por el territorio español, reflejando la rápida expansión de esta tecnología en los últimos años (La Sexta, 2023).

Sin embargo, persisten desafíos estructurales, entre ellos la necesidad de mayor capacidad de almacenamiento energético, la modernización de las redes de interconexión y la consolidación de un marco regulatorio estable que favorezca el autoconsumo distribuido (Global

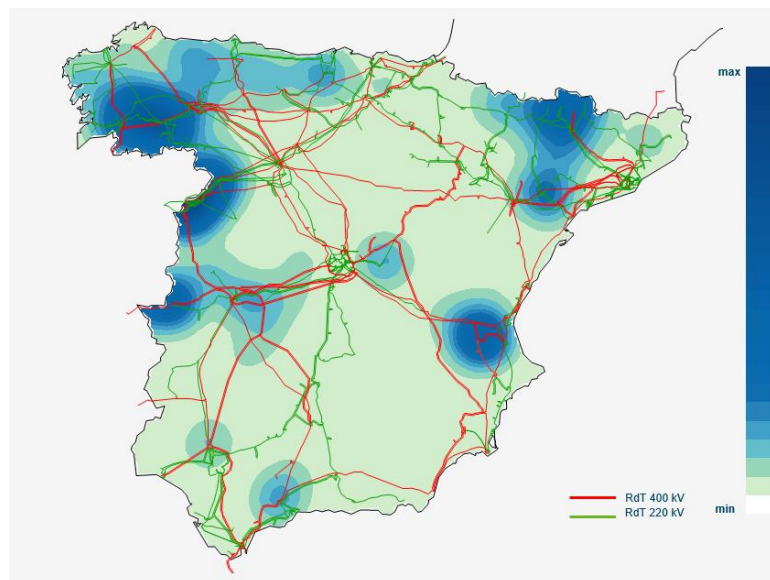
Energy Monitor, 2024). Como lo menciona la página oficial Strategic Energy (2025), una de las principales limitaciones es la saturación de la red eléctrica en áreas donde se concentran grandes parques solares, lo cual provoca congestión y obliga a recortes de generación. A ello se suma un proceso de permisos y trámites que sigue siendo largo y costoso; algunos proyectos enfrentan años de espera para conseguir conexión, lo que encarece la inversión y desincentiva nuevos desarrollos (Rated Power, 2025). Finalmente, la falta de almacenamiento en gran escala y de interconexiones transfronterizas adecuadas impide que la producción solar sea completamente aprovechada o gestionada eficientemente, lo que reduce la capacidad del sistema para absorber picos de generación y mitigar la intermitencia inherente a esta fuente (Le Monde, 2025).

Por su parte, en términos de capacidad instalada, y como se aprecia en la Figura 1, la energía hidroeléctrica ocupa el tercer lugar entre las fuentes renovables y el cuarto dentro del sistema eléctrico nacional español, con aproximadamente 17.097 MW registrados a finales de 2023, equivalentes al 13,7 % de la capacidad total instalada (REE, 2024). Sin embargo, este indicador se ha mantenido prácticamente estable durante la última década, con un crecimiento mínimo de apenas 2,4 MW en 2023, lo que refleja la madurez tecnológica y la limitada posibilidad de expansión.

La energía hidroeléctrica, aunque constituye una tecnología consolidada, continúa siendo un pilar fundamental para la estabilidad del sistema eléctrico español. Durante el año 2024, su aporte se estimó en torno al 13 % de la generación eléctrica total, evidenciando su papel clave en el respaldo del sistema y en la regulación de la oferta energética (Statista, 2024).

Figura 4

Distribución Geográfica de las Instalaciones Hidroeléctricas en la Península al 31 de Diciembre de 2023



Nota. Potencia instalada (Agua) 2023 [*Informe del sistema eléctrico peninsular*]. Red Eléctrica de España, (2023).

Haciendo énfasis en la Figura 4, donde se muestra la distribución de las fuentes hidroeléctricas en la Península Ibérica, se puede observar cómo Castilla y León concentra la mayor capacidad hidroeléctrica instalada, con un 25,7 % del total nacional, al albergar la cuenca del Duero, la segunda más extensa del territorio. En segundo lugar, se encuentra Galicia, con un 21,8 %, región que reúne gran parte de la zona norte del país e incluye también territorios de Asturias, Cantabria y parte del País Vasco. En conjunto, cinco comunidades autónomas -Castilla y León, Galicia, Extremadura, Cataluña y Aragón- agrupan cerca del 80 % de la capacidad total instalada en España, lo que evidencia una concentración regional significativa de este tipo de generación (REE, 2024).

Sin embargo, a comparación de las otras fuentes renovables mencionadas, la capacidad hidroeléctrica española se encuentra actualmente en un estado de alta madurez tecnológica, con

un crecimiento prácticamente estancado. De acuerdo con la International Energy Agency (IEA), se proyecta que para 2035 la hidroeléctrica representará aproximadamente el 8 % de la capacidad instalada, consolidando un rol de fuente de respaldo más que de expansión.

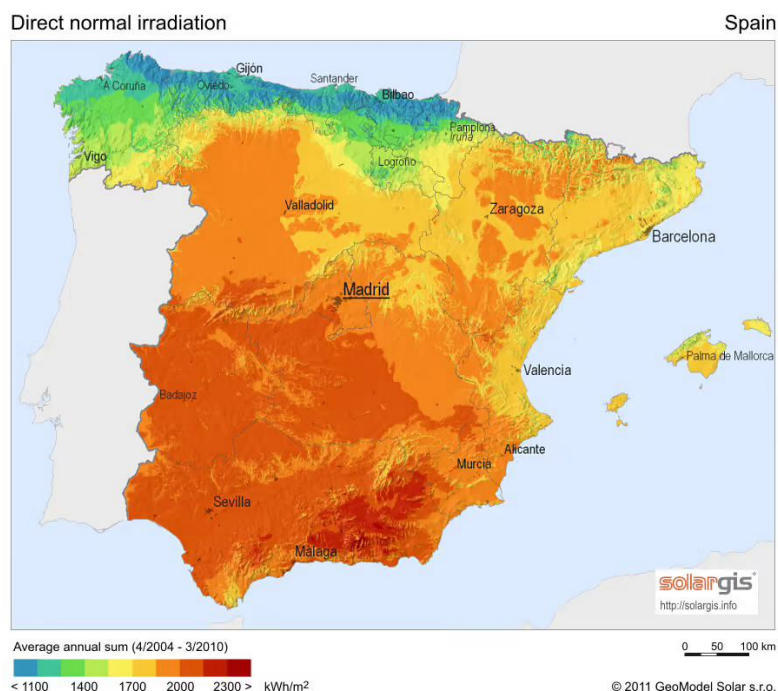
Respecto a las limitaciones halladas, la producción hidroeléctrica depende de manera notable de la variabilidad hídrica anual. En períodos de sequía, la generación puede disminuir considerablemente, afectando la seguridad energética si no se fortalecen las capacidades de almacenamiento o se desarrollan fuentes alternativas. Por este motivo, su papel dentro de la transición energética española tiende a evolucionar hacia el de “gran reserva energética”, un sistema con la capacidad de almacenar energía a gran escala y liberarla flexiblemente cuando la generación renovable disminuye, equilibrando de esta manera la intermitencia de las fuentes solar y eólica (Power Technology, 2024),

Finalmente, se encontraron fuentes renovables en transición en menor porcentaje (1.6% según lo observado en la Figura 1) como la energía termosolar, también denominada solar térmica de concentración (CSP, por sus siglas en inglés), la cual constituye una tecnología renovable que permite almacenar energía térmica y generar electricidad incluso en ausencia de radiación solar directa (SolarPACES, 2024). Desde 2013, el país ha operado más de 50 plantas termosolares con una capacidad acumulada aproximada de 2,3 GW. El almacenamiento térmico formó parte de los primeros proyectos nacionales, destacando la planta Andasol, primer proyecto CSP de Europa, con una capacidad de almacenamiento de 7,5 horas, y el proyecto Termasol, último en completarse antes de la moratoria renovable de 2012, que incorporó 9 horas de almacenamiento.

De acuerdo con Red Eléctrica de España (2024), la capacidad termosolar instalada en el país se ha mantenido estable en los últimos años, contribuyendo de forma significativa a la generación solar total y al equilibrio del sistema eléctrico peninsular.

Figura 5

Expansión y Distribución de la Irradiación Solar en España



Nota. CSP potential and operating plants in Spain, por SolarSpace, (2024).

Como se aprecia en la Figura 5, entre los factores que favorecen la expansión de CSP en España, se destacan la alta radiación solar en el sur del país, donde la irradiación global y la radiación directa normal (DNI) superan los 1.900–2.000 kWh/m² anuales, condiciones óptimas para el rendimiento térmico de las plantas. Además, las políticas tempranas de incentivos como los esquemas de tarifas de inversión impulsaron el crecimiento del sector durante la década anterior, consolidando la posición de España como uno de los principales mercados globales de energía termosolar (REGlobal, 2024).

Entre los principales retos de esta tecnología se encuentra su elevado coste de inversión, que resulta superior al de otras fuentes renovables como la fotovoltaica o la eólica. Además, para aprovechar su ventaja de generación controlable, la CSP requiere integrarse con sistemas de almacenamiento térmico, lo que incrementa la complejidad y el costo operativo de los proyectos (REGlobal, 2024).

Por su parte, la biomasa representa una de las fuentes renovables de menor volumen relativo dentro del mix energético de España (dentro del 1.7% que abarca el resto de las energías renovables que se muestran en la Figura 1), aunque cumple un papel complementario relevante. Su aportación resulta clave para la generación distribuida, así como para la gestión de residuos orgánicos y la diversificación tecnológica del sistema eléctrico español (REE, 2024).

Impacto Ambiental y Sostenibilidad

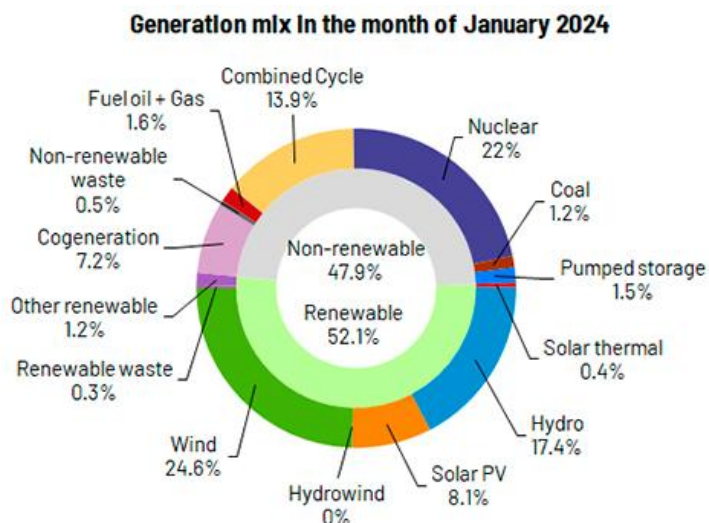
El desarrollo de las energías renovables en España ha transformado significativamente la dinámica ambiental del país, situándolo como uno de los referentes europeos en materia de transición energética sostenible. La expansión de tecnologías limpias -principalmente la eólica, solar fotovoltaica, termosolar e hidroeléctrica- ha contribuido de forma notable en aspectos claves que dan cuenta del impacto ambiental positivo de esta industria en el territorio.

Por ejemplo, en 2024, el sistema eléctrico español registró un hito significativo en su proceso de descarbonización: las fuentes renovables generaron 148.999 GWh, lo que representó el 56,8 % del total de la electricidad producida en el país, alcanzando así un nuevo récord y superando en un 10,3 % la producción del año anterior (Red Eléctrica de España [REE], 2025). Este aumento se atribuye principalmente al crecimiento de la energía eólica y la solar, junto a un repunte de la hidroeléctrica, lo que permitió que la producción procedente de fuentes no

renovables se redujera en un 11,9 %, y la generación mediante ciclos combinados declinara un 23,4 % en comparación con 2023.

Figura 6

Composición del Mix de Generación Eléctrica en España



Nota. La demanda de energía eléctrica en España aumenta un 1,1 % en enero [Nota de prensa], por Red Eléctrica de España (2024)

Como se observa en la Figura 6, la transformación del mix eléctrico tiene efectos positivos en la calidad del aire: al desplazarse la generación basada en carbón y gas, disminuyen los co-contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), que históricamente se han vinculado a la producción térmica. Según el Inventario Nacional de Emisiones (IIR-2024), las centrales eléctricas representaban ya una parte menor de las emisiones totales del país -aproximadamente el 5,5 % para SO₂ y el 7,2 % para NO_x-, un reflejo de la caída sostenida de estos contaminantes gracias al crecimiento renovable (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITECO], 2023).

Asimismo, la transición fuera del carbón ha transformado no solo las emisiones de CO₂ del sistema eléctrico, sino también ha producido cambios en la estructura energética y laboral de las cuencas tradicionales. Según una evaluación publicada por CaixaBank Research, entre 2018 y

2024 España incrementó la generación asequible renovable (eólica + solar) del 22,8 % al 40,2 % del total eléctrico, lo que ha permitido acelerar el cierre de centrales térmicas de carbón y disminuir de forma sistemática la dependencia de combustibles fósiles (CaixaBank Research, 2024). Esta transformación implica que las emisiones de gases de efecto invernadero del sector eléctrico alcanzaron niveles mínimos históricos en 2024, lo cual refuerza la contribución de la electricidad al cumplimiento de los objetivos de neutralidad climática establecidos por la International Energy Agency (IEA) y la Unión Europea.

Continuando con la perspectiva ambiental, las tecnologías de generación eólica y fotovoltaica destacan por su carácter de muy bajo consumo de agua en operación, lo que las sitúa entre las opciones con menor huella hídrica dentro del sistema eléctrico. Al no depender de sistemas de refrigeración intensiva como los de las centrales térmicas, y al requerir mínimas extracciones de agua para su funcionamiento, estas fuentes representan una alternativa de menor presión para los recursos hídricos, especialmente en regiones proclives a la sequía (Jin et al., 2019).

Figura 7

Huella Hídrica Media de Distintas Fuentes de Generación Eléctrica.

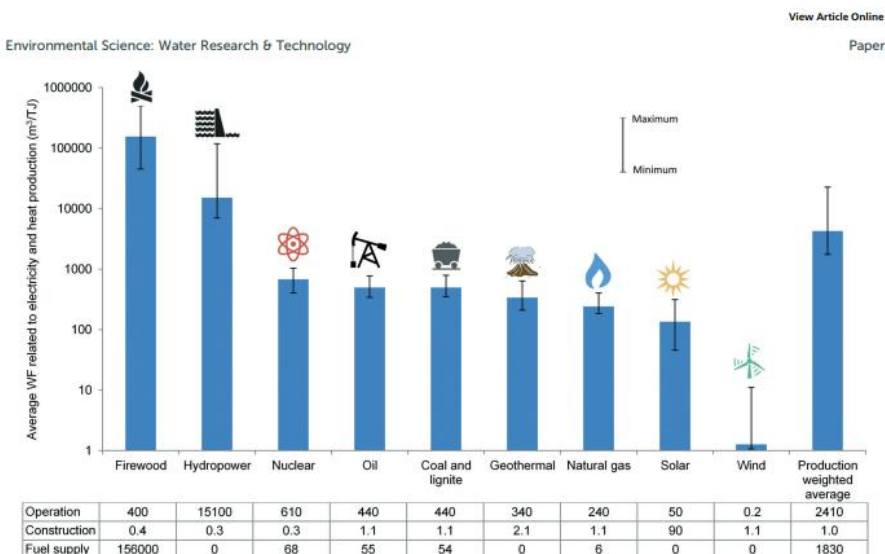


Fig. 2 Average consumptive WF per unit of electricity and heat produced ($\text{m}^3 \text{TJ}^{-1}$) for the period 2008–2012. Note that the scale is logarithmic. The ranges shown reflect minimum and maximum values per energy source. The values in the table represent the WF ($\text{m}^3 \text{TJ}^{-1}$) for the three main stages of the electricity and heat production chain.

Nota. Tomado de Water Footprint Network (2015), citado en Vector Renewables (2023).

No obstante, y como puede apreciarse en la figura 7, el despliegue acelerado de renovables trae consigo una serie de impactos territoriales que requieren atención. El documento del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2024) señala que el aumento previsto de parques eólicos y fotovoltaicos implica una ocupación de suelo estimada en unos 4.300 km², equivalente al 0,8 % de la superficie del país en la actualización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2023-2030.

Entre los impactos más relevantes figuran el uso del suelo, la posible alteración del paisaje, la afectación de hábitats de aves y quirópteros y la incidencia sobre zonas marítimas en el caso de la eólica offshore. Para mitigar estos efectos, el plan incorpora medidas como la zonificación ambiental, evaluación ambiental obligatoria, preferencia por emplazamientos antropizados y procedimientos para evitar espacios protegidos o corredores ecológicos (MITECO, 2024). Empero, aunque la transición renovable ofrece beneficios globales

indiscutibles, su éxito a nivel territorial dependerá de una planificación estratégica que combine eficiencia energética con justicia y protección ambiental.

Lo anterior prueba que el crecimiento de estas fuentes también plantea retos ambientales asociados a su implementación, por lo que, en este contexto, la sostenibilidad se convierte en un eje central de la política energética española la cual se articula desde la planificación con evaluación ambiental estratégica (MITECO-PNIEC, 2023-2030).

La gestión del fin de vida y la economía circular constituyen otro eje de sostenibilidad: en el caso fotovoltaico, la trasposición de la Directiva RAEE mediante el Real Decreto 110/2015 obliga a productores e importadores a financiar la recogida selectiva, el reciclaje y la trazabilidad de los módulos, evitando vertidos y favoreciendo la responsabilidad ampliada del productor; en paralelo, el sector eólico impulsa planes industriales de reutilización y reciclaje de palas, alineados con los marcos europeos de economía circular. Estos instrumentos limitan la carga ambiental de los residuos tecnológicos y aseguran que la huella material del sistema renovable se reduzca progresivamente a lo largo de su ciclo de vida (MITECO-PNIEC, 2023-2030).

Un tercer aspecto sostenible es la integración de renovables con menor presión sobre recursos: la opción prioritaria por eólica y fotovoltaica que recoge el PNIEC contribuye a una transición con baja huella hídrica y menores emisiones locales, siempre que venga acompañada por almacenamiento, refuerzo de la red e interconexiones para minimizar vertidos (curtailment) y reducir el uso puntual de respaldo fósil ante eventos extremos (MITECO-PNIEC, 2023-2030).

Impacto Económico y Social

Según un informe de Randstad Research citado por Energy Box (2024), el empleo en el sector energético creció un 13,3 %, alcanzando aproximadamente 97.960 personas, impulsado en especial por las fases de instalación, operación y mantenimiento de plantas renovables. A su vez,

estudios señalan que las tecnologías solar fotovoltaica y eólica generan un efecto de empleo directo e indirecto relevante en las provincias donde se implantan proyectos a gran escala, lo cual subraya un impacto regional tangible para las economías locales (BBVA Research, 2025).

En cuanto a la contribución al crecimiento económico y la competitividad, el sector de las renovables ya ha comenzado a dejar huella en el Producto Interno Bruto (PIB) español: los datos de APPA y Deloitte indican que en 2021 el sector renovable aportó un valor cercano a los 19.011 millones de euros, es decir, alrededor del 1,58 % del PIB. Al mismo tiempo, la menor dependencia de importaciones de combustibles fósiles permitió una mejora de la balanza comercial energética, con importaciones evitadas por encima de los 10.000 millones de euros en ese mismo año. El informe de McKinsey & Company, “The Iberian green industrial opportunity”, advierte que España y Portugal poseen una ventana de oportunidad única para desarrollar una industria verde competitiva, la cual podría traducirse en reindustrialización, mayor valor añadido propio y un refuerzo estratégico dentro de Europa (McKinsey y Company, 2024).

El crecimiento renovable también se traduce en inversión, fortalecimiento de la cadena de valor y distribución territorial del desarrollo. Informes de EY (RECAI) citados por el gobierno sugieren que España figura entre los mercados más atractivos para inversión en renovables a nivel mundial, recibiendo tanto capital nacional como internacional para nuevas plantas, tecnologías de almacenamiento e infraestructuras de red (Iberdrola España, 2024).

En materia de inclusión social y transición justa, el crecimiento del sector renovable se enmarca en una estrategia orientada a que las regiones dependientes de combustibles fósiles no queden rezagadas. La creación de empleo, la formación profesional en nuevos perfiles

energéticos y la participación de cadenas de valor permiten que comunidades menos industrializadas accedan a beneficios del cambio energético (Fabra et al., 2024).

Finalmente, la ampliación del mix renovable también ha empezado a impactar en los precios y la competitividad energética. Según el estudio de BBVA Research (2025), entre 2021 y 2024 la participación de renovables aumentó cerca de 20 puntos porcentuales, lo cual contribuyó a reducir los precios mayoristas en el mercado eléctrico español en torno al 20 % (12,5 % entre 2021-2023 y 7,5 % en 2024).

Marco Regulatorio y Políticas Claves

La Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, constituye uno de los pilares fundamentales del sistema energético español. Esta ley define el régimen jurídico del sector eléctrico, con el objetivo de garantizar el suministro de energía en condiciones de calidad, seguridad y sostenibilidad económica. Además, introduce el concepto de régimen retributivo específico para instalaciones de generación renovable, cogeneración y residuos, garantizando una rentabilidad razonable a los inversores y fomentando la participación de energías limpias en el mix energético nacional (BOE, 2013).

Complementariamente, el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, desarrolla la regulación para la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, cogeneración y residuos. Este decreto establece los procedimientos para la asignación del régimen retributivo específico y los criterios para determinar la rentabilidad razonable de las instalaciones. Con ello, se buscó dar estabilidad jurídica a los proyectos renovables y evitar la dependencia de subsidios variables, fortaleciendo la confianza de los actores del sector (BOE, 2014).

También se puede hacer mención de la Ley 7/2021 de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética, la cual establece como elementos centrales la consecución de la

neutralidad climática en 2050, la prohibición de nuevas autorizaciones para exploración y extracción de hidrocarburos en el territorio nacional, así como la fijación de metas mínimas de penetración de renovables y mejora de la eficiencia energética. Esta ley ha sentado las bases para que España oriente su política energética hacia modelos de generación limpia y consumo responsable.

Luego, el Real Decreto-Ley 7/2025, publicado el 24 de junio de 2025, introduce un avance regulatorio relevante al facilitar la ampliación hasta 5 km del radio para autoconsumo colectivo, favorecer la figura del gestor de autoconsumo y declarar a las instalaciones de almacenamiento como de interés público prioritario, lo que agiliza los trámites para su aprobación. Este tipo de norma muestra la evolución hacia una regulación que ya no solo impulsa generación, sino que incorpora almacenamiento, participación ciudadana y flexibilidad del sistema (Interreg Europe, 2025; Strategic Energy Europe, 2025).

A nivel estratégico, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 constituye la hoja de ruta de España para cumplir sus compromisos climáticos y energéticos. Este plan establece metas concretas, como alcanzar un 74 % de generación eléctrica renovable para 2030, mejorar la eficiencia energética en un 39,5 % y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 23 % respecto a 1990. Además, el PNIEC promueve la electrificación del transporte, la modernización de las redes y el impulso al autoconsumo y las comunidades energéticas locales (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

Adicionalmente, la aprobación de programas de incentivos para almacenamiento y autoconsumo colectivo ha reforzado la política de transformación. Por ejemplo, el programa de subvenciones “REN INN” de España destinó ayudas que emparejan generación renovable con almacenamiento, permitiendo coberturas hasta el 60-80 % de los costes elegibles y orientadas a

comunidades energéticas y usuarios vulnerables. Esto refleja la transición desde la expansión de infraestructura hacia un modelo de uso distribuido y democráticamente gestionado (ESS-News, 2025).

Por último, se han introducido medidas de carácter fiscal que fomentan el autoconsumo y la participación ciudadana. Según un reporte reciente, dos de cada tres municipios españoles ofrecen ya reducciones en el impuesto de bienes inmuebles (IBI) para instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo, lo que dinamiza la adopción en el ámbito residencial y facilita la transición energética a nivel local (PV Europe, 2025).

Casos de Éxito e Innovaciones Tecnológicas

Caso 1: Hibridación de Parques Eólico–Fotovoltaicos. La empresa EDP Renewables conectó en 2024 el que se considera el primer parque híbrido de viento y sol en España, ubicado en Santa María del Cubillo (Ávila). Este proyecto, que combina turbinas eólicas y paneles fotovoltaicos en la misma ubicación y punto de conexión, permite optimizar la producción de electricidad renovable al aprovechar los recursos eólico y solar de forma complementaria. Según la empresa, la hibridación puede aumentar hasta un 40 % la producción eléctrica de un parque ya existente. Este tipo de innovación tecnológica señala una evolución clave: no solo instalar más renovables, sino integrar fuentes de manera más eficiente y flexible en la red.

Caso 2: Almacenamiento a Gran Escala y Proyectos de Hibridación Sobrenumerarios. La compañía Acciona Energía ha avanzado con proyectos de hibridación solar-eólica y almacenamiento energético: por ejemplo, un nuevo campo solar de 19.7 MWp junto a un parque eólico de 26 MW en Cuenca generará aproximadamente 37 GWh al año. Además, la empresa tiene proyectados 2.4 GW de almacenamiento y 1.8 GW de hibridación solar-viento. Este caso evidencia cómo España no solo está aumentando capacidad renovable, sino también

desarrollando infraestructura de respaldo (almacenamiento) y modelos de generación más sofisticados para superar los retos de intermitencia.

Caso 3: Planta de Hidrógeno Verde “Hysencia” en Aragón, España. El proyecto DH2 Energy ha obtenido la autorización ambiental integrada para su planta “Hysencia Green Hydrogen Plant”, ubicada en Plasencia del Monte (La Sotonera, Aragón). Esta instalación de 35 MW de electrólisis, alimentada por una planta solar fotovoltaica de 49 MWp, producirá aproximadamente 1.700 toneladas de hidrógeno renovable al año, evitando unas 16.000 toneladas de CO₂ al año, lo que equivale aproximadamente a evitar entre 9 y 10 toneladas de CO₂ por cada tonelada de hidrógeno convencional sustituido. El proyecto representa un hito en España y Europa al combinar generación renovable, producción de hidrógeno y aplicación industrial de forma integrada, evidenciando cómo los avances tecnológicos están permitiendo nuevas cadenas de valor para la transición energética.

Caso 4. Planta Solar Fotovoltaica Núñez de Balboa. Ubicada en Extremadura, es una de las mayores plantas solares fotovoltaicas de Europa, con una capacidad instalada de 500 MW. Inaugurada en 2020, genera energía suficiente para abastecer a 250.000 hogares y evita la emisión de 215.000 toneladas de CO₂ al año.

Caso 5. Parque Eólico El Escudo. Situado en Cantabria, este parque eólico cuenta con una capacidad instalada de 105 MW, capaz de suministrar energía limpia a 95.350 hogares. Es un ejemplo de integración de energías renovables en zonas montañosas, aprovechando los recursos eólicos disponibles.

Caso 6. Planta de Hidrógeno Verde de Puertollano. En Castilla-La Mancha, se encuentra la mayor planta de hidrógeno verde para uso industrial en Europa, con una capacidad de producción de más de 200.000 toneladas al año. Este proyecto representa un avance significativo

en la descarbonización de la industria y en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía.

Panorama Actual de las Energías Renovables en Colombia

Contexto de la Matriz Energética Colombiana

La matriz energética colombiana presenta una composición dual caracterizada por una fuerte dependencia de los combustibles fósiles en la oferta total de energía primaria y, simultáneamente, una alta participación hidroeléctrica en la generación eléctrica. Esta particular configuración permite al país mantener bajas emisiones relativas de carbono en el sector eléctrico, aunque lo expone a una elevada vulnerabilidad frente a la variabilidad climática, especialmente en periodos de sequía prolongada asociados al fenómeno de El Niño (UPME, 2024; DNP, 2024).

De acuerdo con datos de la Asociación SER Colombia, la capacidad de energía renovable del país creció un 70 % durante 2023, impulsada principalmente por el desarrollo de 25 nuevos proyectos solares que añadieron 208 MW de potencia en las regiones norte y central. Este crecimiento marca el inicio de una etapa de expansión sostenida, acompañada por incentivos fiscales, mayor inversión privada y la modernización de la infraestructura eléctrica.

En cuanto a la oferta de energía primaria, cerca del 75 % proviene de fuentes fósiles - petróleo, gas natural y carbón-, mientras que las fuentes renovables, incluyendo hidráulica, biomasa y solar, representan el 25 % restante (UPME, 2024). Esta estructura revela un modelo aún centrado en los hidrocarburos, principalmente en los sectores de transporte e industria, aunque con un sistema eléctrico que destaca como uno de los más limpios de América Latina (Colombiacheck, 2023).

Dentro de la generación eléctrica, la hidroenergía continúa siendo la columna vertebral del sistema, con una participación cercana al 66 % de la capacidad instalada, equivalente a 13,2 GW de un total de 19,9 GW del Sistema Interconectado Nacional (DNP, 2024). Sin embargo,

esta dependencia del recurso hídrico convierte a Colombia en un sistema sensible ante fluctuaciones hidrológicas, pues los descensos en los niveles de embalses obligan a recurrir a generación térmica de respaldo, lo cual eleva las emisiones y los costos operativos (UPME, 2024).

En materia de infraestructura, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) ha diseñado el Plan Indicativo de Expansión de Generación 2023-2037, el cual contempla nuevos proyectos de transmisión destinados a conectar las zonas con potencial renovable al Sistema Interconectado Nacional (SIN). De igual manera, la Misión Transmisión Colombia prevé la construcción de líneas estratégicas que optimicen el flujo energético entre el norte y el centro del país, reduciendo la congestión y mejorando la confiabilidad del sistema (UPME, 2024).

Por lo anterior, la matriz energética colombiana se encuentra en una fase de transición controlada: mantiene un sistema eléctrico con predominio hidroeléctrico y bajas emisiones, pero requiere fortalecer la incorporación de FNCER, modernizar redes, ampliar el acceso energético y reducir la dependencia fósil del consumo final. Estos avances serán determinantes para alcanzar una transición energética justa, resiliente y sostenible en el mediano plazo (Minenergía, 2025).

Principales Fuentes de Energía Renovable en Colombia

Colombia presenta un sistema eléctrico con una alta dependencia de la energía hidroeléctrica, que representa la mayor parte de la generación renovable del país. Según el informe de la International Energy Agency (IEA) sobre Colombia, hacia finales de 2022 la capacidad hidroeléctrica instalada alcanzaba aproximadamente los 12.265 MW, configurando así una base firme de generación limpia (IEA, 2023). Durante el periodo comprendido entre agosto de 2024 y julio de 2025, la hidroeléctrica aportó más de dos tercios del total de la electricidad

generada, consolidando su posición estructural en la matriz eléctrica nacional (Low-Carbon Power, 2024).

Figura 8
Distribución de Hidroeléctricas en Colombia



Nota. Hidroeléctricas de Colombia. Tomado de *Colombia – Energy Policy Review*, por International Energy Agency (IEA). (2023).

Este predominio, como se puede apreciar en la Figura 8, se explica por las condiciones geográficas del país -ríos con alto caudal, relieve montañoso y disponibilidad hídrica favorable- que han impulsado históricamente el desarrollo de esta tecnología. No obstante, su elevado peso en el sistema implica vulnerabilidades ligadas a la variabilidad hidroclimática, lo cual expone al país a riesgos de abastecimiento en periodos de sequía o reducción de caudales (UPME, 2024).

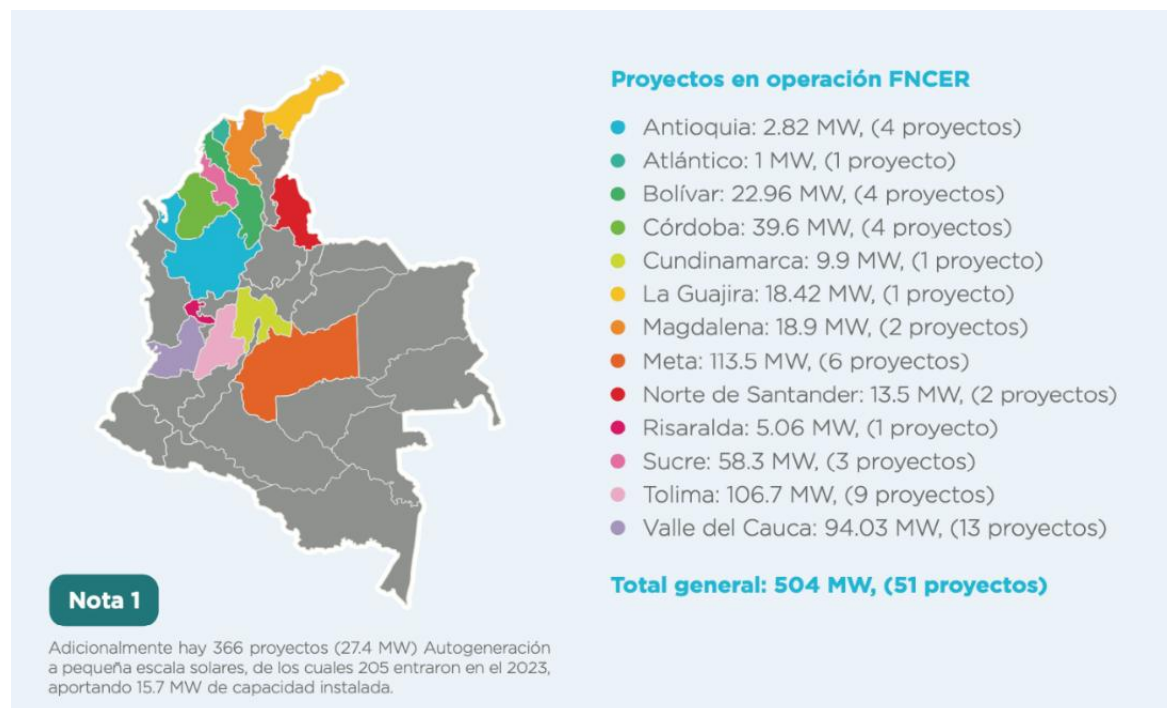
A pesar de que la hidroeléctrica actúa como la columna vertebral del sistema colombiano, presenta problemas de vulnerabilidad debido al fenómeno de El Niño y otras fluctuaciones

climáticas, lo que aumenta el riesgo de cortes de suministro y volatilidad en los precios. A ello se suman las restricciones para ampliar la capacidad debido a impactos socioambientales, la necesidad de relocalización de comunidades y los largos procesos de permisos y construcción (DNP, 2024).

La dependencia histórica de esta fuente deja a la matriz colombiana con una menor diversificación tecnológica. Sin embargo, según el más reciente informe de la Asociación de Energías Renovables SER Colombia (2024), esta nación cuenta actualmente con 504 megavatios (MW) de capacidad instalada en fuentes renovables no convencionales, excluyendo la generación hidroeléctrica, los cuales se encuentran conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esta cifra equivale aproximadamente al 2,5 % de la capacidad total instalada del país, y corresponde a 51 plantas solares, eólicas y de biomasa distribuidas en 13 departamentos.

Figura 9

Ubicación Proyectos FNCER Entregando Energía al SIN a Diciembre de 2023



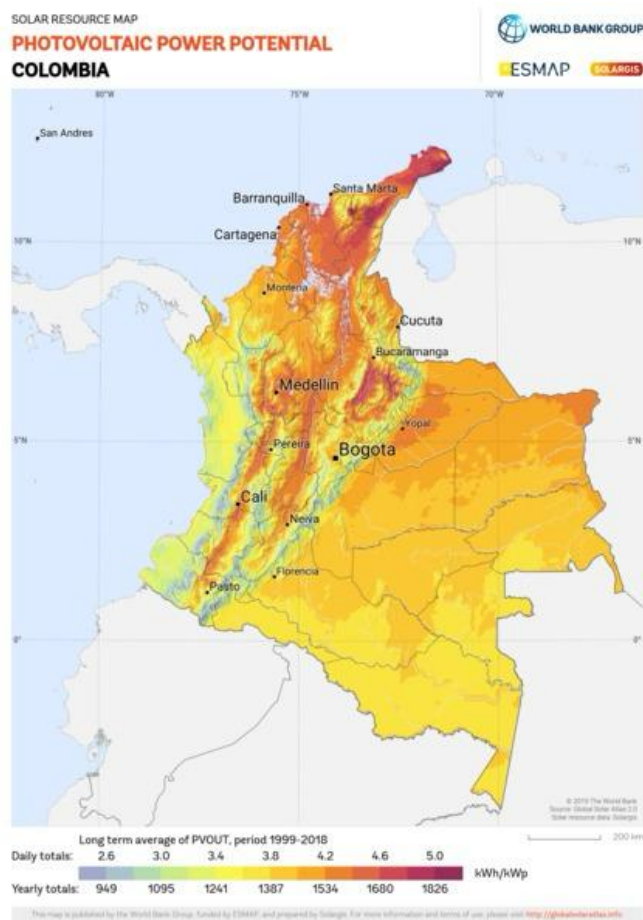
Nota. Proyecto en operación FNCER. Tomado de *Colombia's renewable energy heat map*, por BNAmericas (2024).

Como se puede apreciar en la Figura 9, el departamento del Meta, ubicado en la región centro-oriental del país, lidera en capacidad instalada con alrededor de 113.5 MW distribuidos en seis proyectos. Le sigue Tolima, con 106.7 MW provenientes de nueve proyectos, y Valle del Cauca, con 94.03 MW repartidos en trece instalaciones. En cuarto lugar, se ubica Sucre, con 58,3 MW derivados de tres proyectos activos. Otros departamentos con participación destacada en la generación renovable son Córdoba (39,6 MW en cuatro proyectos), Bolívar (22.96 MW en cuatro proyectos), Magdalena (18,9 MW en dos proyectos), La Guajira (18,42 MW en un proyecto), Norte de Santander (13,5 MW en dos proyectos), Cundinamarca (9,9 MW en un proyecto), Risaralda (5,06 MW en un proyecto), Antioquia (2,8 MW en cuatro proyectos) y Atlántico (1 MW en un proyecto).

Así pues, la energía solar fotovoltaica en Colombia aún se encuentra en etapas iniciales de desarrollo, pero con un fuerte potencial de crecimiento. Por ejemplo, en 2023 la capacidad FV a escala utility alcanzó los 486 MW tras la adición de 207 MW durante ese año (PV Magazine, 2024). Asimismo, un análisis de políticas indica que, para 2022, la capacidad operativa de energía solar era de apenas 290 MW y la energía eólica de unos 18,4 MW, frente a un potencial estimado de 32 GW de solar y 30 GW de eólica (SEI, 2023).

Figura 10

Mapa de Recurso Solar: Potencial Fotovoltaico en Colombia



Nota. Photovoltaic power potential. Tomado de *Solar resource maps & GIS data – Colombia*, por Solargis (s. f.).

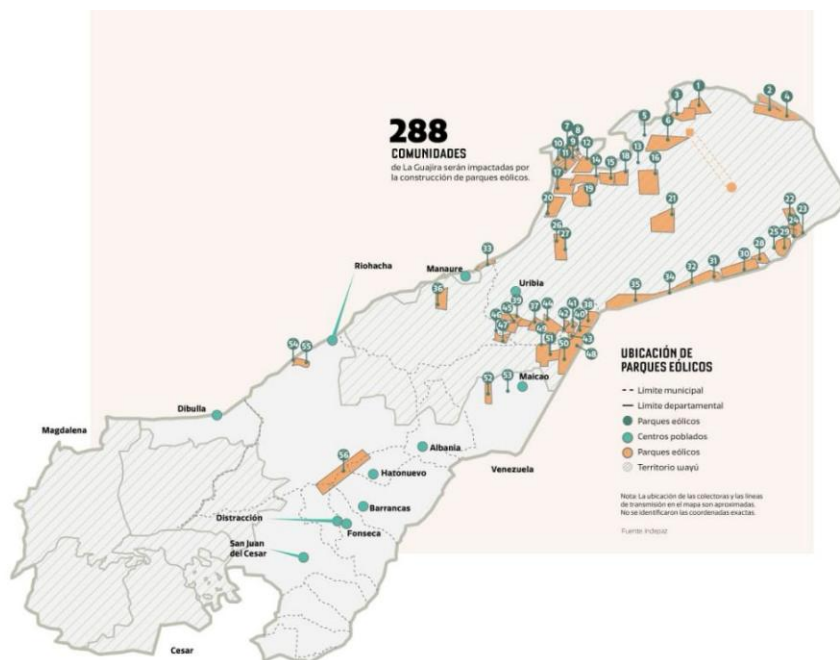
Al contrastar el potencial observado en la Figura 10 y la capacidad instalada mencionada con anterioridad, se muestra una Colombia que posee uno de los recursos solares más atractivos de la región -particularmente en zonas como la península de La Guajira- pero que su explotación aún es limitada (IEA, 2023).

Aunque el recurso solar es abundante, la FV afronta congestión y cuellos de botella de conexión en redes locales, demoras en permisos (ambientales, uso de suelo, conexión), y costos financieros elevados por tasas de interés y percepción de riesgo, lo que afecta la bancabilidad de

proyectos. Adicionalmente, la incertidumbre en incentivos fiscales (ritmo y alcance de beneficios de la Ley 1715 y normativa asociada) y la variabilidad de precios en contratos y mercado mayorista complican cierres financieros estables. En FV distribuida, persisten barreras de adopción (coste inicial, trámites, conocimiento técnico) que limitan su masificación (OECD, 2023).

Seguidamente, la eólica en Colombia está también en fase temprana, aunque el país dispone de recursos extremadamente favorables. Datos muestran que, a finales de 2024 o principios de 2025, la generación de nuevas renovables no convencionales (eólica + solar) se estimaba en aproximadamente 1,88 GW de capacidad instalada, y se proyectaba que alcanzaría 2,55 GW a finales de 2025 (Reuters, 2024). De hecho, el departamento de La Guajira concentra el mayor potencial eólico de Colombia y constituye el epicentro del desarrollo de esta tecnología en el país.

Figura 11
Ubicación de Parques Eólicos en La Guajira, Colombia



Nota. Ubicación de parque eólicos. Tomado de *Especial sobre La Guajira: Empresas y proyectos se afianzan en la tierra prometida para el sector eólico en Colombia*. Energía Estratégica (2024).

En los últimos años, y como se aprecia en la Figura 11, diversos desarrolladores nacionales e internacionales han identificado alrededor de 65 proyectos eólicos distribuidos a lo largo del territorio guajiro. Este auge ha posicionado este departamento como una zona estratégica para la transición energética de Colombia. Sin embargo, los avances enfrentan desafíos importantes relacionados con la concertación con comunidades locales para la obtención de licencias y permisos ambientales. En el área se ubican cerca de 288 comunidades, en su mayoría pertenecientes al resguardo indígena Wayuu, lo que requiere procesos de consulta previa amplios y coordinados para garantizar el respeto de los derechos étnicos y la sostenibilidad social del desarrollo eólico (Energía Estratégica, 2024)

Además, existe capacidad de red insuficiente para evacuar energía desde zonas remotas como La Guajira hacia los centros de demanda. La incertidumbre regulatoria (cambios de reglas, ajustes en subastas/PPAs y cronogramas) ha elevado el riesgo percibido y desincentivado inversiones o ha llevado a cancelaciones/posposiciones (The Guardians, 2024).

Impacto Ambiental y Sostenibilidad

El desarrollo de las energías renovables en Colombia no solo representa un avance tecnológico y económico, sino también un cambio estructural hacia un modelo energético más limpio y resiliente. En el plano ambiental, Colombia mantiene una de las matrices eléctricas más bajas en carbono de América Latina gracias a que la generación hidroeléctrica aporta entre el 65% y 70 % del total de electricidad. Según la International Energy Agency (2023), este predominio hidroeléctrico le permite al país registrar emisiones de CO₂ por kWh aproximadamente un 75 % menores que el promedio mundial, lo que resalta su ventaja relativa en la descarbonización del sistema eléctrico.

Asimismo, en las Zonas No Interconectadas (ZNI), donde históricamente más de 1.700 comunidades dependían de generadores diésel, los proyectos de energía fotovoltaica híbrida con baterías desplegados entre 2020 y 2023 lograron reducciones de emisiones locales de partículas PM_{2.5} de entre 40 % y 60 % y de óxidos de nitrógeno (NO_x) superiores al 70 %, además de eliminar el ruido ocasionado por los motores diésel. Estos resultados, documentados por la Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2023), muestran los co-beneficios en calidad del aire y salud respiratoria que aporta la transición energética en territorios rurales y vulnerables como San Andrés, la Amazonía y La Guajira.

Por el contrario, la huella hídrica del sistema eléctrico colombiano está marcada por la alta dependencia de la hidroeléctrica, que consume cantidades significativas de agua por unidad

de energía generada, mientras que las tecnologías eólica y fotovoltaica requieren hasta un 95 % menos de agua durante su operación. Según la IEA (2023) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2024), esta diferencia se vuelve crítica durante periodos de sequía o bajos caudales: la escasez hídrica obliga a un mayor uso de generación térmica, lo que aumenta tanto la presión sobre ecosistemas fluviales como la vulnerabilidad del sistema ante el cambio climático.

El despliegue de energías renovables en Colombia también tiene implicaciones sobre la biodiversidad y los territorios. Investigaciones del SEI (2025) documentan que en La Guajira y el Cesar los proyectos eólicos han generado conflictos por ocupación de territorios ancestrales y riesgos de fragmentación de hábitat, especialmente en comunidades del pueblo Wayuu. Asimismo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2024) advierte sobre la necesidad de establecer una zonificación ambiental preventiva para evitar afectaciones a áreas protegidas, corredores ecológicos y usos tradicionales del suelo, garantizando que el crecimiento renovable sea compatible con la conservación y la justicia territorial.

Finalmente, aunque Colombia avanza en el despliegue de tecnologías limpias, aún no cuenta con un marco regulatorio consolidado de responsabilidad extendida del productor para la gestión de residuos provenientes de paneles solares o palas eólicas. La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2024) estima que para 2030 podrían generarse más de 25.000 toneladas de residuos fotovoltaicos si no se implementan sistemas de reciclaje. Ante ello, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2024), junto con la ANDI, desarrolla el Plan de Economía Circular Energética, que busca incorporar prácticas de reutilización, trazabilidad y valorización de componentes tecnológicos, elemento fundamental para garantizar una transición energética verdaderamente sostenible.

Por todo lo anterior, la sostenibilidad se ha convertido en un eje transversal de la política energética colombiana, orientada a equilibrar los beneficios ambientales y sociales de la transición con una adecuada planificación territorial y la inclusión de las comunidades en la toma de decisiones. Es así como la planificación ambiental en el marco de la transición energética colombiana se sustenta en los lineamientos del CONPES 4075 de 2022 y en la Hoja de Ruta de Transición Energética Justa (Ministerio de Minas y Energía, 2023), que introducen principios de mitigación, adaptación y sostenibilidad ambiental en la ejecución de proyectos de generación renovable.

Según el Departamento Nacional de Planeación (2022), toda iniciativa de gran escala debe someterse a un proceso de licenciamiento ambiental ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) o las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), de acuerdo con su jurisdicción. Dicho proceso exige la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y la formulación de Planes de Manejo y Compensación de Biodiversidad, con una relación de compensación de 1:10 en áreas de especial sensibilidad ecológica. Este marco regulatorio busca garantizar la compatibilidad ambiental de las energías renovables, prevenir conflictos socio ecológicos y asegurar la coherencia entre el desarrollo energético y la conservación de los ecosistemas.

En territorios étnicos y de alta diversidad cultural, los proyectos deben incluir procesos de consulta previa conforme a los estándares internacionales de sostenibilidad social y ambiental. El SEI (2025) advierte que más del 80 % de los proyectos eólicos de La Guajira enfrentan retrasos debido a la falta de acuerdos en las fases iniciales de concertación con las comunidades Wayuu, Inga y Emberá, lo que evidencia la necesidad de reforzar los mecanismos participativos.

En materia de economía circular y seguimiento ambiental, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2024) lanzó la Estrategia de Gestión Integral de Residuos en Energías Limpias, cuyo propósito es minimizar el impacto ambiental durante la operación y el cierre de los proyectos renovables. Además, Colombia ha incorporado en su normativa técnica ambiental los estándares ISO 14001 de gestión ambiental y NTA ISO 50001 de eficiencia energética, cuya adopción es obligatoria para nuevas plantas generadoras, fortaleciendo así el control y la mejora continua en el desempeño ambiental del sector (ICONTEC, 2023).

Desde un enfoque climático, los esfuerzos de adaptación y mitigación se articulan con los objetivos del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PANCC) y con los estudios del IDEAM (2024). Según estas instituciones, la expansión de energías renovables combinada con la restauración forestal y la gestión de cuencas hidrográficas podría evitar más de 25 millones de toneladas de CO₂ entre 2025 y 2035.

Impacto Económico y Social

El impacto económico y social de la transición energética en Colombia se refleja en la creciente integración de fuentes renovables en su matriz productiva. En 2024, Colombia superó los 3 gigavatios (GW) de capacidad instalada en fuentes no convencionales de energía renovable, según el Ministerio de Minas y Energía (2024). Este crecimiento demuestra que el país continúa atrayendo capital hacia tecnologías limpias, generando oportunidades económicas en infraestructura y generación.

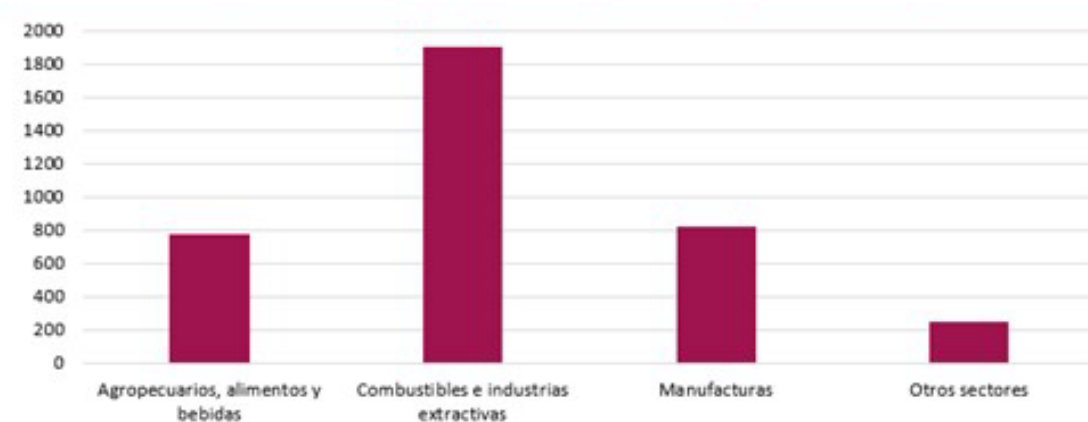
Sin embargo, el propio diagnóstico base para la Transición Energética Justa (2024) advierte que la inversión en renovables cayó cerca de un 70 % entre 2022 y 2023, debido a la reducción de incentivos fiscales, el incremento de los costos de capital y la presión sobre los

precios mayoristas de la energía. Este panorama evidencia la necesidad de políticas estables que incentiven la inversión privada y garanticen seguridad jurídica al sector.

El despliegue de energías renovables también impulsa la creación de empleo y el fortalecimiento de capacidades locales. De acuerdo con un estudio del SEI (2023), cada megavatio fotovoltaico instalado en Colombia puede generar hasta 20 empleos directos durante la fase de instalación, además de otros puestos indirectos en mantenimiento, transporte y operación. Este impacto laboral se concentra en las regiones con proyectos activos, como el Cesar, La Guajira y Meta.

Desde el punto de vista social, las energías renovables han mejorado la cobertura eléctrica en las Zonas No Interconectadas (ZNI), reduciendo la dependencia del diésel y mejorando las condiciones de vida en comunidades rurales. El Departamento Nacional de Planeación (2024) señala que estos proyectos avanzan en la resolución del llamado “trilema energético”: acceso, asequibilidad y sostenibilidad.

En el ámbito macroeconómico, la expansión renovable ha generado efectos positivos en la productividad y la competitividad energética nacional. Según la Escuela Superior de Administración Pública (ESAP, s.f.), la incorporación de fuentes renovables reduce la dependencia de combustibles fósiles importados, lo que mejora la balanza comercial energética y libera recursos públicos para inversión en innovación y tecnología.

Figura 12*Exportaciones Según Grupos de Productos (Millones de USD)*

Nota. Exportaciones según grupo de productos. Tomado de *Incorporación de las energías renovables: cómo avanza la transición energética en Colombia*. AmCham Colombia (2023).

Sin embargo, tal y como se aprecia en la Figura 12, a pesar del avance de Colombia en materia de transición, el país sigue siendo una economía altamente dependiente de la industria extractiva, que, según el DANE, en abril del 2023 representó el 34% del total de las exportaciones del país. Esto ha incentivado a que compañías como Ecopetrol diseñen sus planes para la transición energética, en donde detallan, no solo una hoja de ruta de transición frente a los hidrocarburos, sino también objetivos claros frente a otro tipo de combustibles, como es el caso del hidrógeno.

De igual forma, un informe de la Cámara de Comercio Colombo Americana (AmCham, 2023) destaca que la generación renovable ha permitido disminuir la volatilidad de precios de la electricidad y aumentar la competitividad de sectores industriales intensivos en energía, consolidando un entorno más estable para el crecimiento económico sostenible.

No obstante, los beneficios derivados del desarrollo renovable no se distribuyen de forma homogénea. Las regiones con infraestructura más limitada o con alto riesgo social, como La

Guajira o el Catatumbo, presentan mayores dificultades para absorber inversión y empleo local. Según el SEI (2025), los retrasos en licenciamientos y las tensiones socio territoriales han ralentizado el impacto económico positivo esperado en ciertas zonas, evidenciando la necesidad de reforzar las políticas de equidad territorial.

Marco Regulatorio y Políticas Claves

El desarrollo de un marco regulatorio robusto para las energías renovables en Colombia ha sido fundamental para impulsar la integración de fuentes no convencionales y garantizar la transición hacia una matriz energética más limpia. La Ley 1715 de 2014 fue el primer instrumento legal que reguló expresamente la “integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”. Su objeto es “promover el desarrollo y utilización de las fuentes no convencionales de energía, sistemas de almacenamiento de tales fuentes y uso eficiente de la energía” dentro del sistema energético nacional.

En sus artículos se definen incentivos tributarios (como exención de IVA y aranceles para equipos importados), depreciación acelerada de activos y participación de zonas no interconectadas (ZNI) en proyectos de generación renovable. La ley también establece que los proyectos de FNCER pueden integrarse al mercado eléctrico, en el alumbrado público y en servicios domiciliarios, lo cual abre el terreno para diversificar la matriz. Sin embargo, la implementación ha enfrentado desafíos: según análisis de la Fundación Heinrich Böll, una década después de su aprobación los beneficios se han inclinado hacia grandes generadores y no han favorecido igualmente a comunidades locales o proyectos distribuidos.

La Ley 2099 de 2021 complementa y actualiza el marco normativo previo, con el objetivo de actualizar la legislación vigente, promover la transición energética, dinamizar el mercado energético y estimular el desarrollo de las FNCER. Entre sus instrumentos incluye

modificaciones a la Ley 1715, incentivos para investigación y desarrollo, exenciones para importación de maquinaria en proyectos de FNCER, y participación más activa de las zonas no interconectadas. Esta norma subraya la función estratégica de las renovables en la competitividad nacional y la seguridad de abastecimiento. Sin embargo, también ha sido criticada por no contar aún con mecanismos robustos de subastas exclusivas para renovables y por la falta de reglas claras en conexión a red y permisos.

El Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 integra la creación de las llamadas “comunidades energéticas” dentro del marco de transición justa, permitiendo que los usuarios se constituyan en generadores, comercializadores o usuarios activos de energía mediante FNCER. Esta política fomenta la autogeneración, la generación distribuida y la participación ciudadana, especialmente en zonas rurales y vulnerables, promoviendo la democratización del sistema energético. El plan también establece metas de eficiencia energética, acceso universal y desarrollo territorial equilibrado.

La Estrategia Nacional de Comunidades Energéticas (2024) es un instrumento sectorial que define la metodología general para la constitución, operación y regulación de las comunidades energéticas. Establece que los usuarios pueden agruparse como generadores colectivos o distribuidores, instaurando modelos de autogeneración, almacenamiento y consumo local. Esta estrategia representa un avance hacia un sistema más descentralizado, participativo y resiliente, aunque enfrenta retos técnicos, financieros y normativos para su plena implementación.

La Resolución 40042 de 2024 (y otras resoluciones conexas) del Ministerio de Minas y Energía junto con la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) establecen lineamientos para la conexión, transporte y puesta en operación de proyectos de generación renovable,

abordando garantías, contratos de interconexión y procedimientos de conexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Este instrumento busca superar barreras operativas y acelerar la entrada de proyectos de FNCER en el mercado.

Finalmente, el Gobierno del Cambio, a través del Decreto 1033 de 2025, expidió oficialmente la Licencia Ambiental Solar con Diseño Optimizado (LASolar), un instrumento destinado a proyectos de energía solar con capacidades entre 10 y 100 megavatios (MW). La medida, elaborada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en articulación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, busca agilizar el licenciamiento ambiental, sin disminuir la rigurosidad de sus decisiones, contribuyendo así a materializar la Transición Energética Justa en Colombia (ANLA,2025).

Casos de Éxito e Innovaciones Tecnológicas

Caso 1. Parque Solar La Loma (Cesar). Ubicado en el municipio de El Paso, departamento del Cesar, el Parque Solar La Loma cuenta con una capacidad instalada de aproximadamente 187 MW DC, lo que lo convierte en uno de los proyectos solares de mayor escala en Colombia. Su generación estimada ronda los 420 GWh al año, con lo cual abastecería, según sus promotores, cerca de 600.000 personas. Este parque incorpora más de 400.000 paneles solares sobre una extensión de aproximadamente 387 hectáreas (Enel Green Power, 2024).

Caso 2. Parque Solar Guayepo I & II/III (Atlántico). En los municipios de Ponedera y Sabanalarga, Atlántico, se desarrolla el clúster solar Guayepo I & II, con una capacidad efectiva neta de alrededor de 370 MW AC y 820.600 paneles instalados que generarían cerca de 1.030 GWh al año, según informó Enel Green Power Colombia. Su tercera fase, Guayepo III, prevé 200 MW AC adicionales, con paneles bifaciales y seguidores solares (“trackers”), lo que refuerza su carácter de hub solar para la región Caribe. Este proyecto aporta a la cadena de

suministro local, genera empleo en la zona y demuestra cómo se están agrupando grandes plantas solares para lograr economías de escala y dinamizar el mercado nacional de renovables.

Caso 3. Celsia Solar Palmira 2 + BESS (Valle del Cauca). La empresa Celsia S.A. puso en operación el primer sistema de baterías (BESS) conectado a una granja solar en Colombia. La planta fotovoltaica Palmira 2 tiene una capacidad de 9,9 MW, y el sistema de almacenamiento corresponde a 2 MWh (1 MW de potencia) con tecnología litio-hierro-fosfato (LFP).

Caso 4. Electrificación en Zonas No Interconectadas (ZNI): Microredes FV + Baterías y Acceso Social. Según el informe de la Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas – Zonas No Interconectadas (IPSE), al 30 de septiembre de 2023 ya se habían energizado 3.810 nuevos usuarios en las ZNI con FNCER, solar o híbrido, y se está desplegando una hoja de ruta para modernizar el monitoreo y ampliar cobertura. Estos proyectos conectan comunidades rurales y étnicas que históricamente dependían del diésel, mejorando el acceso, la calidad del servicio y empoderando a territorios con menor cobertura. (IPSE,2023).

Caso 5. Hidrógeno Verde (Cartagena). La estatal Ecopetrol S.A. operó en 2022 un piloto de tecnología PEM de hidrógeno verde en la Refinería de Cartagena alimentado con solar onsite, como parte de su plan de hidrógeno bajo en carbono. Aunque los detalles públicos son limitados, la compañía anunció en 2024 su escalamiento para construir la mayor planta de H₂ verde de Latinoamérica para 2026 (Ecopetrol, 2024).

Caso 6. Cogeneración con Biomasa (Ingenios Azucareros del Valle). El sector azucarero del Valle del Cauca ha sido pionero en la cogeneración con bagazo de caña: los ingenios aprovechan residuos agrícolas como combustible para producir electricidad y vapor, inyectando potencia a la red y demostrando un modelo de economía circular industrial. Aunque las publicaciones actualizadas son más técnicas que mediáticas, los estudios de eficiencia energética identifican

mejoras en la relación energía producida / materia prima y reducciones de emisiones en comparación con combustibles fósiles. Este modelo es relevante porque muestra que las renovables también pueden crecer desde la agroindustria, diversificando la matriz más allá de fotovoltaica u eólica (García-atorres, 2017).

Análisis y Discusión de Hallazgos

Comparación del Potencial Natural y Disponibilidad de Recursos entre España y Colombia

La comparación del potencial renovable entre España y Colombia revela que ambos países poseen condiciones naturales altamente favorables para la transición energética, aunque sus recursos se distribuyen de manera distinta y se encuentran condicionados por factores geográficos, climáticos y estructurales propios de cada territorio.

Tabla 1

Comparación del Potencial Natural y Disponibilidad de Recursos Renovables en España y Colombia

Recurso	España – Potencial natural	Colombia – Potencial natural
Solar fotovoltaico	Alta irradiación en el sur y sureste; productividad condicionada por estacionalidad marcada. Limitaciones territoriales por protección ambiental. (MITECO, 2024; REE, 2024)	Irradiación estable durante todo el año; baja variación estacional y elevado potencial en Caribe, Andina y Llanos. Limitado más por infraestructura que por recurso. (UPME, 2024; MinEnergía, 2025)
Eólico onshore	Vientos consolidados en Castilla y León, Galicia y Aragón; recurso ampliamente aprovechado desde los 90. (AEE, 2024)	Recurso de clase mundial en La Guajira (velocidades >10–12 m/s). Alto potencial, pero subutilizado por conflictos territoriales y retrasos en transmisión. (IEA, 2023; UPME, 2024)
Hidroeléctrico	Potencial prácticamente saturado; nuevas grandes presas limitadas por impactos socioambientales. Vulnerabilidad a sequías. (REE, 2024)	Alto potencial histórico; columna vertebral del sistema. Vulnerable a El Niño; expansión restringida por impactos ambientales y sociales. (DNP, 2024; IDEAM, 2024)
Biomasa	Potencial moderado asociado a	Potencial fuerte en agroindustria (caña, palma, café). Cogeneración consolidada en ingenios. (UPME,

	agricultura y forestal; menor competitividad frente a solar/eólica. (MITECO, 2024)	2024; ESAP, 2023)
Geotermia	Potencial localizado (Islas Canarias); desarrollo incipiente. (IEA, 2023)	Potencial alto por el Cinturón Volcánico Andino; sin proyectos comerciales. (UPME, 2024)
Limitaciones estructurales	Escasez relativa de suelo, presión paisajística y ambiental; mayor densidad territorial. (MITECO, 2024)	Gobernanza territorial fragmentada, consulta previa compleja y baja capacidad de transmisión. (DNP, 2024; SEI, 2025)

Nota. Creación Propia (2025)

En la tabla 1, el conjunto de recursos de ambos países muestra que las condiciones naturales favorecen ampliamente el desarrollo de energías renovables, aunque bajo configuraciones distintas. España presenta un potencial solar y eólico distribuido territorialmente, pero condicionado por su estacionalidad y por una presión significativa sobre el uso del suelo. En contraste, Colombia posee un potencial más uniforme y abundante, especialmente en solar y eólica, pero su explotación depende menos de factores físicos y más de aspectos institucionales, sociales y de infraestructura. En el ámbito hidroeléctrico, España enfrenta un virtual límite de expansión, mientras que Colombia mantiene un potencial considerable pero sujeto a una creciente vulnerabilidad hídrica documentada por el IDEAM (2024) y la IEA (2023).

Las diferencias clave no se centran solo en la magnitud de los recursos, sino en las capacidades para convertirlos en infraestructura operativa. España ha logrado consolidar gran parte de su potencial gracias a su planificación energética y una infraestructura eléctrica capaz de integrar grandes cantidades de eólica y fotovoltaica. En cambio, Colombia, pese a contar con uno de los mejores recursos eólicos y un sólido potencial solar, ha enfrentado barreras

socioterritoriales, rezagos en transmisión y una dependencia histórica del recurso hidroeléctrico que ha ralentizado la ampliación de nuevas tecnologías.

Finalmente, el potencial natural de ambos países proyecta trayectorias distintas hacia el futuro. Para España, la limitada disponibilidad territorial y la presión sobre los ecosistemas indican que su transición dependerá cada vez más de optimización tecnológica (almacenamiento, hidrógeno verde, offshore). Para Colombia, el reto consiste en destrabar los cuellos de botella institucional y social que permitan aprovechar recursos de talla mundial y reducir la vulnerabilidad asociada a la variabilidad climática.

Respecto a las condiciones geográficas y climáticas, España cuenta con una mayor estacionalidad que condiciona la producción -especialmente solar e hidro-, mientras que Colombia, al estar ubicada en la zona ecuatorial, exhibe una disponibilidad continua de radiación solar y regímenes hidroclimáticos altamente productivos, aunque vulnerables al fenómeno de El Niño.

La siguiente tabla resume estos elementos con base en las fuentes utilizadas previamente.

Tabla 2

Condiciones Geográficas y Climáticas Relevantes para el Desarrollo Renovable en España y Colombia

Condiciones Geográficas y Climáticas	España	Colombia
Ubicación y estacionalidad	Latitud media; marcada estacionalidad solar e hídrica. Variabilidad intra-anual elevada. (MITECO, 2024; REE, 2024)	Ubicación ecuatorial; irradiación estable todo el año con mínimas variaciones estacionales. (IDEAM, 2024; UPME, 2024)
Regímenes de viento	Vientos consolidados en Meseta Norte y costa atlántica; variabilidad moderada. (AEE, 2024)	Recurso en La Guajira (clase mundial) y potencial significativo en zonas montañosas. Alta consistencia

		anual. (IEA, 2023; SEI, 2025)
Hidroclima y cuencas	Cuencas reguladas; vulnerables a sequías prolongadas por cambio climático. (REE, 2024)	Hidrología abundante; alta dependencia del recurso. Vulnerabilidad severa ante El Niño. (DNP, 2024; IDEAM, 2024)
Topografía y uso del suelo	Territorio con elevada presión humana, restricciones de conservación, y limitaciones para expansión renovable. (MITECO, 2024)	Territorio amplio con baja densidad en zonas clave, pero con complejidad socioterritorial y presencia de comunidades indígenas. (DNP, 2024; SEI, 2025)
Zonas costeras y offshore	Potencial offshore limitado por profundidad y competencia de usos marítimos. (MITECO, 2024)	Potencial alto en Caribe; falta infraestructura portuaria y marco operativo. (IEA, 2023)
Riesgos climáticos	Sequías recurrentes, olas de calor y reducción de aportes hidroeléctricos. (MITECO, 2024)	Variabilidad extrema por El Niño/La Niña; afectación directa a reservas hídricas y confiabilidad eléctrica. (IDEAM, 2024; XM, 2024)

Nota. Elaboración propia (2025)

Como puede apreciarse en la tabla 2, España al ubicarse en latitudes medias, presenta una marcada estacionalidad: los meses de verano concentran altos niveles de irradiación, mientras que el invierno reduce drásticamente la producción solar y modifica la disponibilidad del recurso eólico. Esta variabilidad obliga al país a reforzar mecanismos de almacenamiento y a planificar un mix renovable que compense la oscilación intra-anual. El régimen hidroclimático español también está sometido a tensiones por la disminución de aportes hídricos en cuencas

históricamente productivas, reflejando los efectos del cambio climático documentados por MITECO (2024).

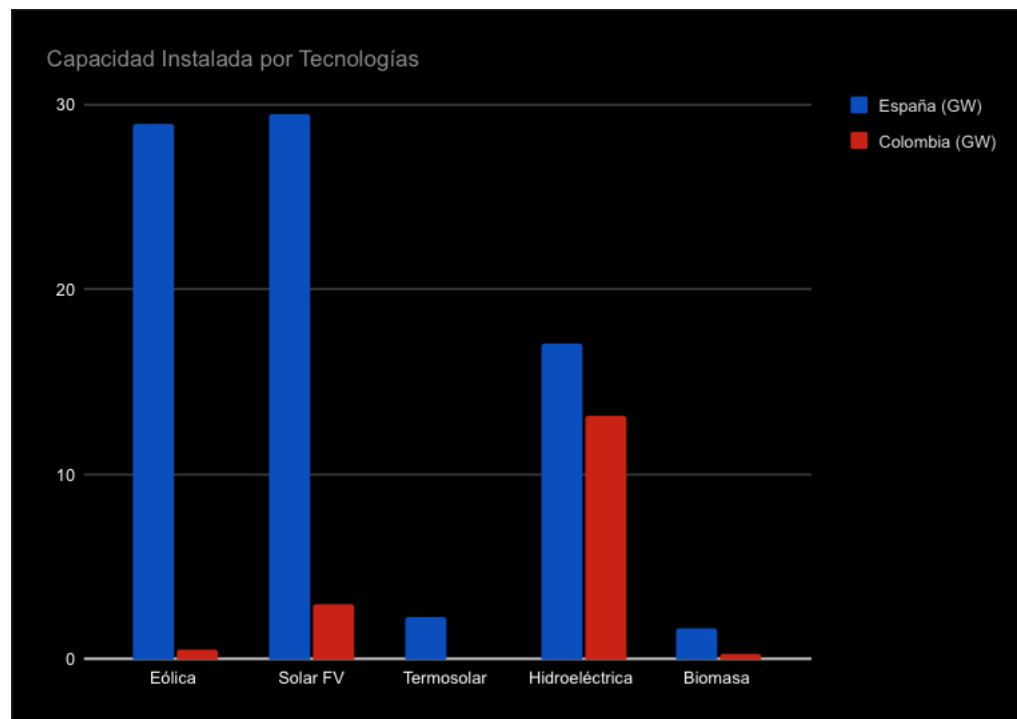
Colombia, por el contrario, presenta una irradiación constante debido a su proximidad al Ecuador, lo que permite una producción solar más estable durante todo el año y reduce la necesidad de compensar estacionalidades extremas. El país también posee un recurso eólico único: La Guajira alberga velocidades de viento entre las más altas de Latinoamérica, con factores de capacidad superiores al promedio mundial, según la IEA (2023). En términos hidroclimáticos, Colombia cuenta con una de las redes de cuencas más extensas de la región, pero su dependencia estructural del agua la expone marcadamente a los ciclos de El Niño, cuya intensidad puede provocar caídas en embalses, racionamientos temporales e incremento de generación térmica, como ha señalado XM (2024).

Sin embargo, mientras España enfrenta restricciones físicas -suelo disponible, presión paisajística, saturación territorial-, Colombia debe afrontar desafíos socioterritoriales complejos: presencia de comunidades indígenas en zonas de mayor potencial renovable, tensiones por consulta previa, baja integración de transmisión y falta de infraestructura portuaria y logística para eólica offshore. De esta manera, se observa que las limitaciones en España provienen sobre todo de características geográficas y ambientales, mientras que en Colombia derivan de factores institucionales, sociales y de desarrollo del territorio.

Comparación del Desarrollo Tecnológico en España y Colombia

Figura 13

Comparación de la Capacidad Instalada por Tecnologías en España y Colombia



Nota. Elaboración propia (2025) con base en REE 2024; SolarPACES 2024; MinEnergía 2025; UPME 2024

La comparación tecnológica entre España y Colombia revela diferencias estructurales profundas. En el caso español, la eólica y la solar fotovoltaica constituyen los pilares de la transición energética, mientras que Colombia muestra un patrón opuesto: la hidroeléctrica es el eje dominante. En conjunto, la figura 13 muestra que España exhibe una matriz tecnológica mucho más equilibrada y diversificada, con capacidades similares en solar y eólica, mientras que Colombia continúa apoyándose casi exclusivamente en la hidroeléctrica. Esto implica que España ha logrado reducir la vulnerabilidad asociada a un único recurso y mejorar la resiliencia de su sistema frente a variabilidad climática, mientras que Colombia depende en gran medida del

comportamiento hídrico y enfrenta desafíos para avanzar hacia tecnologías distribuidas y gestionables que complementen la hidroelectricidad.

Con relación al grado de digitalización y sofisticación tecnológica de los sistemas energéticos de España y Colombia, en el caso español, Red Eléctrica de España (REE) opera uno de los sistemas de monitorización y control más sofisticados de Europa, apoyado en centros de control específicos para renovables (CECRE) que permiten gestionar en tiempo real más de 70 GW renovables instalados y mantener la estabilidad del sistema. España ha desarrollado sistemas avanzados de predicción meteorológica, plataformas de control automático de generación, y herramientas de curtailment inteligente, todo lo cual permite integrar altos porcentajes de eólica y fotovoltaica sin comprometer la seguridad eléctrica. Además, tecnologías como la solar termoeléctrica con almacenamiento térmico (CSP) y los sistemas híbridos FV + BESS constituyen un ecosistema de innovación que coloca al país en una posición privilegiada dentro del contexto europeo.

Colombia, por su parte, avanza hacia la digitalización a partir de un sistema históricamente centrado en la hidroeléctrica, donde la variabilidad era menor y los requerimientos tecnológicos eran distintos. En los últimos años se ha fortalecido la incorporación de pronósticos solares y eólicos para la operación del SIN, junto con la instalación de los primeros sistemas de almacenamiento en baterías (BESS) y la expansión de la medición avanzada en redes urbanas. Sin embargo, la digitalización aún es heterogénea en regiones rurales y en las Zonas No Interconectadas (ZNI), donde predominan sistemas aislados y esquemas híbridos que requieren supervisión más sofisticada. Colombia registra avances significativos en automatización de subestaciones, pero aún enfrenta desafíos en telemetría, calidad de datos, integración digital de proyectos eólicos en La Guajira y despliegue masivo de redes inteligentes.

Comparación de Políticas y Marcos Regulatorios en España y Colombia

El marco regulatorio es uno de los elementos que más claramente diferencia el avance de España y Colombia en su transición energética. Mientras España ha consolidado un ecosistema normativo articulado en torno a objetivos climáticos vinculantes, Colombia se encuentra en una etapa de consolidación regulatoria orientada a la integración progresiva de fuentes no convencionales. Las políticas de ambos países no solo revelan distintos grados de madurez institucional, sino también modelos de transición energéticas divergentes: España ha establecido una estructura legal sólida, enfocada en planificación a largo plazo y descarbonización profunda, mientras Colombia se concentra en habilitar condiciones básicas para la diversificación, impulsar inversión y asegurar equidad territorial.

En primer lugar, España avanza bajo una estrategia climática obligatoria, estructurada en torno a la Ley 7/2021 de Cambio Climático, que fija metas de neutralidad de carbono y orienta al sistema energético a alcanzar niveles crecientes de penetración renovable. Esta ley se complementa con la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico y el Real Decreto 413/2014, que ordenan el régimen económico y las condiciones técnicas para las energías renovables, proporcionando un marco estable para inversión, operación y retribución. A esto se suma el PNIEC, que constituye la hoja de ruta detallada de la transición energética española, fijando metas, cronogramas, mecanismos de seguimiento e instrumentos de planificación a 2030.

En contraste, la estructura regulatoria colombiana está construida sobre la Ley 1715 de 2014, que sentó por primera vez las bases para integrar las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) al sistema energético. Su actualización por medio de la Ley 2099 de 2021 fortaleció los incentivos, amplió el alcance de la transición energética y formalizó el concepto de “transición justa”. El Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 incorpora

lineamientos específicos para comunidades energéticas, transición territorial y acceso en zonas rurales, lo que refleja una política energética orientada a equilibrar desarrollo, inclusión y sostenibilidad. A diferencia del caso español, Colombia aún no cuenta con un marco climático vinculante equivalente, por lo que su transición depende más de lineamientos sectoriales y políticas programáticas que de obligaciones legales de largo plazo.

En segundo lugar, España presenta un entorno normativo más predecible, donde la Ley 24/2013 y el Real Decreto 413/2014 regulan con precisión la retribución y las condiciones del mercado eléctrico. Esto, unido al programa REN-inn de subvenciones, ha creado un ecosistema favorable para la inversión y la expansión tecnológica, especialmente en autoconsumo, almacenamiento y comunidades energéticas.

Por su lado, en Colombia, aunque la Ley 1715 y la Ley 2099 introdujeron beneficios tributarios significativos para las FNCER, la inversión enfrenta una mayor volatilidad debido a incertidumbres en transmisión, consultas previas y cambios recientes en los mecanismos fiscales. La Resolución 40042 de 2024 es un intento por estandarizar condiciones de entrada de nuevos proyectos renovables, mejorar criterios de garantías y resolver cuellos de botella administrativos. A este esfuerzo se suma la reciente implementación del modelo LASolar (Decreto 1033 de 2025), una herramienta de diseño optimizado liderada por la ANLA que busca agilizar específicamente el licenciamiento de proyectos solares de entre 10 y 100 MW. Esta medida representa un avance significativo hacia la reducción de las incertidumbres administrativas que han caracterizado al modelo colombiano. No obstante, el sistema colombiano aún carece de la estabilidad de largo plazo que ofrece el marco español, lo que genera fluctuaciones en el despliegue anual de renovables y ralentiza proyectos de gran escala.

Finalmente, España ha incorporado mecanismos de participación pública y evaluación ambiental estratégica a través del PNIEC y la Ley de Cambio Climático, lo que permite integrar criterios de sostenibilidad territorial y corredores ecológicos dentro de su planificación. Además, el desarrollo de autoconsumo y comunidades energéticas se articula bajo marcos regulatorios claros, con incentivos financieros y procedimientos simplificados.

Por el contrario, Colombia ha avanzado recientemente en participación comunitaria mediante la Estrategia Nacional de Comunidades Energéticas y la obligatoriedad de la consulta previa en territorios indígenas y afrodescendientes. Si bien esto fortalece la justicia socioambiental, también constituye uno de los factores que más ralentiza la aprobación de proyectos eólicos y solares en zonas estratégicas. La transición colombiana, por tanto, se enfrenta al desafío de compatibilizar derechos territoriales, protección cultural y desarrollo energético, en un entorno donde los marcos institucionales aún están en consolidación.

Comparación del Impacto Ambiental y Sostenibilidad entre España y Colombia

El impacto ambiental y la sostenibilidad de las energías renovables presentan dinámicas distintas en España y Colombia, condicionadas por su estructura tecnológica, disponibilidad de recursos y madurez institucional. Aunque ambos países han incrementado la participación de energías limpias, los efectos ambientales derivados de este proceso muestran matices específicos: España enfrenta los retos propios de un sistema altamente diversificado que requiere gestionar impactos territoriales, residuos tecnológicos y presión sobre el suelo; mientras que Colombia, pese a partir de una matriz eléctrica comparativamente más limpia gracias a la hidroeléctrica, debe hacer frente a vulnerabilidades hídricas, conflictos territoriales y desafíos de sostenibilidad en regiones de alto potencial eólico y solar. Estas diferencias permiten analizar cómo cada país

avanza hacia la descarbonización y cómo gestionan los impactos asociados a la expansión renovable, estableciendo puntos de convergencia y contrastes que enriquecen este apartado.

En primera medida, la trayectoria de descarbonización de España y Colombia muestra puntos de convergencia -ambos reducen emisiones a partir de un incremento sostenido de energías renovables- pero también presentan diferencias profundas derivadas de su estructura tecnológica, vulnerabilidad climática y nivel de madurez en la transición energética. España experimenta una reducción constante de emisiones asociada al despliegue masivo de eólica y solar, mientras que Colombia mantiene niveles relativamente bajos gracias a su base hidroeléctrica, aunque con vulnerabilidades marcadas frente a fenómenos climáticos.

Comparando ambos casos, España avanza hacia una descarbonización más sólida y estructural, sostenida por diversificación tecnológica, metas climáticas exigibles y una disminución progresiva del consumo de combustibles fósiles. Colombia, aunque parte de una base muy limpia en el sector eléctrico, depende de una única fuente vulnerable al clima, lo que genera oscilaciones en las emisiones y resalta la importancia de expandir solar, eólica y almacenamiento para consolidar una reducción estable. Así, mientras España descarboniza a través de la transformación activa de su mix, Colombia necesita complementar su matriz histórica para reducir la exposición climática y asegurar una descarbonización que sea consistente en el tiempo.

Si bien España y Colombia avanzan hacia una mayor participación de energías renovables, otros impactos ambientales asociados a su despliegue muestran diferencias relevantes determinadas por las características de cada territorio y por el grado de desarrollo tecnológico.

Tabla 3

Comparación de Impactos Ambientales Asociados a la Expansión de Energías Renovables en España y Colombia

Categoría de impacto	España	Colombia
Uso del suelo y transformación del paisaje	Fuerte ocupación territorial por expansión eólica y fotovoltaica, especialmente en zonas rurales y agrícolas. La EAE del PNIIEC identifica impactos sobre paisaje, compatibilidad agrícola-ganadera y necesidad de zonificación ambiental (MITECO, 2023).	Menor ocupación por FV y eólica, pero con impactos concentrados en áreas de alto valor social y cultural (especialmente La Guajira). Riesgo de fragmentación de territorio ancestral y disputas sobre uso de tierras indígenas (SEI, 2025).
Biodiversidad y fauna	Riesgos documentados de colisión de aves y murciélagos en parques eólicos terrestres, y potencial afectación marina en proyectos offshore. Se exige monitoreo y medidas correctivas proyecto a proyecto (MITECO, 2023).	Riesgos de afectación a ecosistemas desérticos y semiáridos, así como fauna local en zonas eólicas del Caribe. El MinAmbiente advierte la necesidad de zonificación para evitar impactos en áreas protegidas (MinAmbiente, 2024).
Presión hídrica	Tecnologías predominantes (eólica y FV) presentan baja demanda de agua y contribuyen a reducir presión hídrica en zonas áridas. La termosolar, aunque más intensiva en agua, se gestiona mediante sistemas cerrados (MITECO, 2023).	Alta dependencia hidroeléctrica implica mayor consumo hídrico y vulnerabilidad ante sequías. La diversificación con eólica y FV reduce presión hídrica, pero aún insuficiente frente al riesgo climático (IDEAM, 2024; IEA, 2023).
Emisiones y calidad del aire	Desplazamiento de carbón y gas ha reducido significativamente emisiones de CO ₂ y contaminantes atmosféricos (SO ₂ , NO _x), alcanzando caídas interanuales de hasta -16 % en emisiones del sector eléctrico (REE, 2024).	En ZNI, la sustitución progresiva de diésel por sistemas híbridos FV+baterías reduce PM _{2.5} entre 40-60 % y NO _x en más de 70 %, mejorando calidad del aire y salud ambiental local (OECD,

		2023).
Residuos tecnológicos y economía circular	Incremento relevante de residuos FV y eólicos. España aplica la Directiva RAEE a paneles solares y avanza en programas de reciclaje de palas. La sostenibilidad depende del fortalecimiento de reciclaje y REP (MITECO, 2023).	Colombia carece de un sistema consolidado para residuos FV o palas. UPME estima >25.000 t de residuos solares para 2030 si no se implementan cadenas de reciclaje. Políticas de economía circular están en formulación (UPME, 2024).
Impactos socioterritoriales	La conflictividad ambiental es moderada y se gestiona mediante EAE y participación ciudadana. Proyectos requieren compatibilidad con Red Natura 2000 y corredores ecológicos (MITECO, 2023).	Los impactos recaen sobre comunidades indígenas Wayuu, Inga y Emberá. Más del 80 % de los proyectos eólicos en La Guajira registran retrasos por falta de acuerdos y consulta previa (SEI, 2025).

Nota. Elaboración propia (2025)

La tabla 3 evidencia que, aunque ambos países enfrentan impactos ambientales derivados de la expansión renovable, la naturaleza de dichos efectos está profundamente condicionada por la estructura tecnológica de cada sistema. España, como país altamente diversificado y con despliegue masivo de eólica y solar, experimenta principalmente impactos asociados al uso del suelo (como la ocupación extensiva del territorio o la transformación de paisajes rurales), biodiversidad (fragmentación de hábitats y mortalidad de especies aéreas por colisión con aerogeneradores) y residuos tecnológicos (gestión de paneles y componentes al final de su vida útil); estos retos son propios de una transición avanzada que requiere refinamiento territorial y circularidad industrial.

En contraposición, Colombia enfrenta impactos más vinculados a vulnerabilidad hídrica, tensiones territoriales y ausencia de infraestructura para residuos, reflejo de una transición aún

emergente. Su dependencia de la hidroeléctrica expone al país a riesgos climáticos, mientras que sus nuevos proyectos eólicos y solares presentan desafíos socioculturales significativos.

Esto quiere decir que los impactos ambientales no solo difieren por tipo de tecnología predominante, sino por el grado de madurez de la transición: España gestiona impactos de una matriz diversificada, mientras que Colombia presenta impactos de una matriz concentrada y de territorios sensibles donde se implementan proyectos emergentes.

Finalmente, la relación entre las energías renovables y la huella hídrica es uno de los aspectos que más diferencian los sistemas energéticos de ambos países, debido a sus distintas estructuras tecnológicas y condiciones geográficas. En España, la expansión acelerada de las tecnologías eólica y solar fotovoltaica ha permitido reducir de forma notable la presión sobre los recursos hídricos, dado que ambas se sitúan entre las fuentes de generación eléctrica con menor consumo de agua en operación, según los estudios internacionales de huella hídrica aplicados al sector energético (Gerbens-Leenes et al., 2019).

Sin embargo, Colombia exhibe una relación hídrica más compleja debido al peso estructural de la hidroeléctrica en su matriz eléctrica. Aunque esta fuente aporta una generación limpia desde el punto de vista de emisiones, se asocia a una alta demanda hídrica y a una marcada vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos extremos. De acuerdo con la IEA (2023) y el IDEAM (2024), el balance hídrico nacional muestra que, en periodos de sequía, la disminución de caudales genera descensos profundos en la capacidad de generación hidroeléctrica, lo que obliga al país a incrementar la producción térmica, aumentando temporalmente su huella de carbono y su presión sobre el recurso hídrico.

Comparativamente, España ha avanzado hacia una matriz de muy baja huella hídrica gracias a su diversificación y a la hegemonía de tecnologías secas como eólica y fotovoltaica,

mientras que Colombia mantiene una dependencia hídrica estructural que condiciona su sostenibilidad ambiental. El desafío colombiano consiste en acelerar la inserción de renovables de baja demanda de agua para reducir la exposición a sequías, mientras que España debe continuar optimizando la gestión hídrica en sus tecnologías con mayor requerimiento, especialmente en las zonas afectadas por escasez de agua. En ambos casos, la huella hídrica se revela como un indicador central de sostenibilidad frente a escenarios de cambio climático.

Comparación del Impacto Económico y Social entre España y Colombia

El impacto económico y social de la transición energética muestra diferencias estructurales entre España y Colombia que responden al estado de madurez de sus mercados renovables y al rol que estas tecnologías desempeñan en sus economías. En primer lugar, el crecimiento del sector renovable español ha impulsado un aumento significativo del empleo directo e indirecto. Solo en 2024, el sector energético español registró un aumento del 13,3 %, alcanzando aproximadamente 97.960 empleos, con una fuerte contribución de la instalación, operación y mantenimiento de plantas eólicas y fotovoltaicas (Randstad Research, 2024). Además, estudios de BBVA Research muestran que los proyectos renovables generan empleos estables en las provincias donde se instalan, activando cadenas de valor locales vinculadas a manufactura, logística, ingeniería, operación y servicios especializados. España cuenta con empresas líderes en la fabricación de aerogeneradores, componentes fotovoltaicos y soluciones de almacenamiento, lo que fortalece su competitividad industrial y permite que la transición energética tenga efectos multiplicadores sobre el empleo cualificado.

Por su parte, en Colombia la generación de empleo renovable es más reciente y se concentra principalmente en la fase de instalación de proyectos solares y eólicos. Estimaciones del Stockholm Environment Institute (SEI) indican que cada MW fotovoltaico puede generar

alrededor de 20 empleos durante la fase de instalación, aunque los empleos permanentes son más reducidos debido a la menor madurez del sector. Las cadenas de valor nacionales aún presentan fragmentación: mientras algunas regiones -como Valle del Cauca, Atlántico o Cesar- comienzan a integrar componentes logísticos o de ensamblaje, el país sigue dependiendo de equipos importados y carece de una industria consolidada que permita capitalizar plenamente el potencial de creación de empleo. En conjunto, España muestra un impacto laboral estructural y sostenido, mientras que Colombia presenta un impacto creciente pero todavía limitado por la escala y madurez de su sector.

Asimismo, España se ha posicionado como uno de los mercados más atractivos para inversión en energías renovables dentro de Europa. El marco regulatorio estable y programas de incentivo como REN-inn han impulsado la entrada de capital nacional e internacional, lo que ha permitido desarrollar megaproyectos solares, eólicos y termosolares que fortalecen la competitividad energética del país. Según APPA y Deloitte, el sector renovable aportó aproximadamente 19.011 millones de euros al PIB español en 2021, representando el 1,58 % del producto interno bruto y reduciendo significativamente la dependencia energética exterior mediante el descenso en importaciones de combustibles fósiles. El impulso tecnológico y la modernización industrial se combinan con un mercado energético que favorece precios más competitivos para industrias intensivas en electricidad, mejorando la posición de España en la economía europea.

Por el contrario, en Colombia la inversión renovable ha avanzado pero con fluctuaciones importantes. El país superó los 3 GW de capacidad instalada limpia en 2024, lo que refleja una fase de expansión relevante y nuevas oportunidades para generación, infraestructura de transmisión y almacenamiento. Sin embargo, según el Diagnóstico Base para la Transición

Energética Justa (MinEnergía, 2024), la inversión cayó cerca del 70 % entre 2022 y 2023 debido a ajustes fiscales, incertidumbre en proyectos eólicos del Caribe y retrasos administrativos en licenciamiento. Aun así, proyectos como Guayepo, La Loma o los sistemas híbridos en ZNI muestran que el país puede atraer inversión, aunque todavía depende de resolver conflictos territoriales, fortalecer su infraestructura eléctrica y estabilizar reglas fiscales.

Mientras España compite en un mercado avanzado con alta capacidad industrial, Colombia está en un proceso de consolidación donde la competitividad depende de reducir barreras estructurales y asegurar condiciones estables para los inversionistas.

Finalmente, España ha orientado parte de su transición energética a garantizar una distribución más equitativa de los beneficios, mediante esquemas de autoconsumo, comunidades energéticas y fondos destinados a regiones afectadas por el cierre del carbón. El enfoque de transición justa promueve la reindustrialización verde, la capacitación laboral y la sustitución económica en territorios antes dependientes de combustibles fósiles. Las evaluaciones ambientales estratégicas incorporan participación ciudadana y mecanismos para compatibilizar proyectos con necesidades territoriales, incrementando la aceptación social y reduciendo conflictividad.

En Colombia, por su lado, presenta la inclusión social como uno de los retos más visibles de la transición. En las Zonas No Interconectadas (ZNI), la expansión de sistemas fotovoltaicos híbridos con baterías ha permitido mejorar el acceso a energía limpia, reducir dependencia al diésel y generar beneficios directos en calidad de vida, salud y educación. Sin embargo, en regiones como La Guajira todavía persisten tensiones por consulta previa, distribución de beneficios, conflictos culturales y ocupación de territorios ancestrales, lo que ha retrasado más del 80 % de los proyectos eólicos (SEI, 2025). Aunque el plan Estrategia Nacional de

Comunidades Energéticas busca fortalecer la participación ciudadana y promover beneficios locales, la transición colombiana solo podrá consolidarse si se logra integrar a las comunidades de manera efectiva y garantizar una distribución justa de los impactos y beneficios.

Todo lo anterior muestra dos modelos de transición energética que generan beneficios distintos según su grado de madurez, su marco institucional y sus capacidades productivas.

España evidencia un impacto estructural en empleo, inversión y competitividad, sustentado en cadenas de valor consolidadas, un entorno regulatorio estable y la integración activa de la ciudadanía en la transición. Colombia, aunque ha logrado avances significativos en expansión renovable y acceso energético, enfrenta desafíos asociados a la escala industrial, la distribución territorial de beneficios y la participación efectiva de comunidades en zonas estratégicas. Estas diferencias revelan que, mientras España capitaliza plenamente los efectos económicos derivados de su diversificación energética, Colombia se encuentra en un proceso de consolidación donde la inclusión social y la reducción de barreras estructurales serán determinantes para que la transición energética genere impactos más amplios, equitativos y sostenibles en el mediano plazo.

Lecciones de España Aplicables a Colombia

La experiencia española ofrece un conjunto de lecciones valiosas para el contexto colombiano, especialmente en términos de planificación, gobernanza territorial, resiliencia climática e impulso industrial. Aunque los dos países operan bajo realidades tecnológicas y socioeconómicas distintas, España ha desarrollado una arquitectura de transición energética que puede servir como referencia para fortalecer los pilares regulatorios, institucionales y productivos de la transición colombiana.

Uno de los aprendizajes más relevantes es la importancia de una planeación a largo plazo, acompañada de estabilidad regulatoria. El desarrollo renovable español ha sido posible gracias a marcos consolidados como la Ley 24/2013, el Real Decreto 413/2014 y el PNIEC, que definen objetivos, cronogramas, retribuciones y reglas claras para la inversión. Para Colombia, replicar este enfoque implicaría avanzar hacia una mayor estabilidad normativa, reducir la incertidumbre en los procesos de licenciamiento y fortalecer la previsibilidad de las subastas renovables, asegurando que las señales de mercado se mantengan consistentes en el tiempo. Una planificación sólida del sistema de transmisión —similar a los planes integrados españoles— permitiría además conectar de manera oportuna regiones estratégicas como La Guajira, Cesar y Atlántico, evitando cuellos de botella y retrasos que en la actualidad han afectado proyectos eólicos y solares.

Asimismo, la experiencia española demuestra el valor de la integración territorial y la participación social como condición para la sostenibilidad de la transición. España ha desarrollado mecanismos institucionalizados de participación pública, evaluaciones ambientales estratégicas y marcos de compensación ambiental y socioeconómica que permiten articular los proyectos con el territorio y reducir conflictividad. En contraste, Colombia enfrenta tensiones significativas con comunidades indígenas y rurales, especialmente en La Guajira. Adaptar la experiencia española implicaría fortalecer la gobernanza comunitaria, garantizar beneficios tangibles para las comunidades locales, realizar una distribución de ingresos transparente y establecer mecanismos de diálogo continuo que permitan construir legitimidad social en los territorios donde se desarrollan los proyectos.

En términos tecnológicos, España muestra los beneficios de una diversificación energética orientada a la resiliencia climática. Su combinación equilibrada de eólica terrestre,

solar fotovoltaica, termosolar e hidráulica permite reducir la vulnerabilidad ante variaciones climáticas y estabilizar la generación anual. Para Colombia, este enfoque constituye la lección principal: diversificar más allá de la hidroeléctrica es clave para reducir los impactos de fenómenos como El Niño, disminuir la exposición hídrica y avanzar hacia una matriz más resiliente. Expandir la capacidad solar y eólica, integrar almacenamiento BESS y promover gestión de demanda permitiría reducir la dependencia estructural del agua y asegurar un sistema más equilibrado frente a sequías prolongadas.

Por último, la transición española evidencia cómo las energías renovables pueden impulsar el desarrollo industrial y las cadenas de valor locales. España ha consolidado una industria fotovoltaica y eólica competitiva, con empresas líderes en fabricación de turbinas, componentes FV, sistemas de seguimiento solar y soluciones de almacenamiento. Este modelo ofrece una ruta replicable para Colombia, que podría potenciar la fabricación local de paneles, estructuras, cableado, sistemas de montaje, equipos de BESS y servicios de operación y mantenimiento. Esto no solo aumentaría el impacto económico de la transición, sino que también fortalecería la autonomía tecnológica y generaría empleo especializado en distintas regiones del país.

Todas las lecciones españolas permiten visualizar una hoja de ruta para Colombia basada en cuatro puntos específicos: estabilidad regulatoria, gobernanza territorial, diversificación tecnológica e impulso industrial. Adaptar estos aprendizajes a las particularidades sociales y geográficas del país podría acelerar la transición energética, mejorar su legitimidad social y convertirla en un motor de competitividad y desarrollo sostenible a largo plazo.

Conclusiones

El análisis comparativo realizado a lo largo de esta monografía permite comprender, de manera integral, el estado actual del desarrollo de las energías renovables en España y Colombia, así como las dinámicas, retos y oportunidades que definen la transición energética en ambos contextos. Los resultados muestran que, si bien ambos países avanzan en el fortalecimiento de sus matrices renovables, lo hacen desde realidades estructurales profundamente distintas, lo cual condiciona tanto sus trayectorias como las lecciones que pueden extraerse para Colombia a partir de la experiencia española.

En primer lugar, el panorama actual de las energías renovables en España evidencia un sistema consolidado, diversificado tecnológicamente y apoyado por un marco regulatorio estable y sólido. España ha logrado transformar su matriz eléctrica mediante una expansión acelerada de la energía eólica y solar fotovoltaica, posicionándose como una referencia europea en matriz renovable, reducción de emisiones y despliegue tecnológico. El país cuenta con una infraestructura moderna, un ecosistema industrial competitivo y una política energética integrada en compromisos climáticos vinculantes. Este escenario permite afirmar que la transición española se encuentra en una fase de madurez avanzada, donde los principales desafíos ya no se centran en la incorporación de renovables, sino en la gestión territorial, la optimización del almacenamiento y el desarrollo de nuevos vectores como el hidrógeno verde.

En contraste, el panorama colombiano muestra una transición energética en fase de consolidación, caracterizada por la dualidad entre una elevada participación hidroeléctrica y una incipiente incorporación de fuentes no convencionales como la solar y la eólica. Colombia se beneficia de una matriz eléctrica relativamente limpia gracias a su alta dependencia hidroeléctrica, pero esta misma fortaleza se convierte en una vulnerabilidad significativa frente a

la variabilidad climática. A esto se suman desafíos institucionales, retrasos en licenciamientos, tensiones territoriales y barreras técnicas para la integración de nuevas fuentes al sistema interconectado. No obstante, el país ha mostrado avances sustanciales en normativas, inversión inicial y adopción de energías limpias, especialmente en regiones con alto potencial como La Guajira, Cesar y Valle del Cauca. A este progreso se suma la implementación de la Licencia Ambiental Solar con Diseño Optimizado (LASolar), bajo el Decreto 1033 de 2025, la cual constituye una herramienta clave para agilizar los trámites ambientales y reducir los tiempos de ejecución de proyectos solares. Estos progresos permiten visualizar una ruta de diversificación en marcha, aunque aún dependiente del fortalecimiento institucional.

En cuanto a la comparación internacional entre España y Colombia, los resultados muestran diferencias determinantes que influyen en la velocidad y profundidad de la transición energética. España se distingue por su estabilidad regulatoria, su planificación multisectorial de largo plazo, la presencia de cadenas de valor industriales completas y una gobernanza territorial que, aunque enfrenta tensiones, cuenta con mecanismos institucionales más sólidos. Colombia, por su parte, presenta una transición fuertemente condicionada por su geografía, sus dinámicas sociales y su estructura productiva, lo que implica que no puede replicar de manera total el modelo español. Sin embargo, las lecciones derivadas de la experiencia española resultan relevantes para orientar el proceso colombiano hacia una transición más ordenada y sostenible, especialmente en lo referente a la diversificación tecnológica, la planificación del sistema eléctrico y la participación social.

En relación con los impactos ambientales y de sostenibilidad, la comparación entre ambos países muestra nuevamente un contraste significativo. En España, los impactos están asociados a la ocupación del territorio, el manejo de residuos tecnológicos y la necesidad de

compatibilizar proyectos con la protección de biodiversidad. Sin embargo, estos retos surgen precisamente de una transición avanzada. En Colombia, los impactos ambientales están marcados por la vulnerabilidad hídrica derivada de la dependencia hidroeléctrica, así como por los conflictos territoriales en zonas de interés renovable, especialmente en comunidades indígenas. Estos hallazgos evidencian que la sostenibilidad no puede desligarse de la estructura tecnológica dominante ni de la geografía socioambiental de cada país. A pesar de ello, la diversificación con tecnologías de baja huella hídrica como la solar y la eólica representa una oportunidad estratégica para ambos contextos, especialmente para Colombia dadas sus condiciones climáticas y su exposición constante a fenómenos extremos.

En términos económicos y sociales, España demuestra que la transición energética puede convertirse en un motor de crecimiento, empleo especializado e innovación industrial, siempre que exista un ecosistema regulatorio y financiero estable. Colombia, en cambio, enfrenta un panorama más desigual, donde los beneficios de la transición aún no se distribuyen homogéneamente entre regiones y sectores. Aunque la expansión de proyectos solares y eólicos ha generado empleo y cobertura energética en zonas rurales, los desafíos sociales persisten, especialmente en lo relativo a consulta previa, gobernanza local y distribución de beneficios. La comparación revela que la transición energética colombiana debe no solo diversificar su matriz, sino también fortalecer los mecanismos de inclusión social, participación comunitaria y justicia territorial, para garantizar legitimidad y sostenibilidad a largo plazo.

Finalmente, como resultado de la síntesis de los objetivos anteriores y la construcción de recomendaciones estratégicas para Colombia, la monografía demuestra que la experiencia española constituye un modelo de referencia parcial, no replicable de manera íntegra debido a las diferencias estructurales entre ambos países. Sin embargo, ofrece lecciones concretas que pueden

guiar la transición colombiana. Entre ellas destacan: la necesidad de una planificación energética de largo plazo con reglas claras y estables; el fortalecimiento del sistema de transmisión y la integración territorial de los proyectos; la diversificación de la matriz hacia tecnologías menos dependientes del clima; la creación de cadenas de valor industriales locales; y el diseño de políticas efectivas de participación social y distribución de beneficios. Estas recomendaciones, si se adaptan a las particularidades socioambientales de Colombia, pueden contribuir a una transición energética más resiliente, equitativa y sostenible.

En conclusión, este trabajo monográfico reafirma que la transición energética es un proceso multidimensional que no depende únicamente del potencial renovable de un país, sino también de su marco institucional, sus dinámicas sociales, su capacidad industrial y su visión de largo plazo. España y Colombia avanzan hacia un horizonte común -la descarbonización-, pero lo hacen desde realidades distintas que requieren enfoques igualmente diferenciados. La comparación permite identificar no solo las diferencias, sino también los puntos de convergencia que habilitan rutas claras para el desarrollo colombiano.

Así, este análisis permite comprender que Colombia posee todas las condiciones técnicas y normativas para construir una transición energética sólida; la reciente adopción de instrumentos de diseño optimizado como LASolar demuestra una voluntad política y técnica por superar las barreras administrativas identificadas. El desafío restante radica en consolidar la institucionalidad, fortalecer participación comunitaria y articular una diversificación que reduzca vulnerabilidades climáticas y amplíe beneficios sociales. Si estas condiciones se articulan de manera coherente, el país podrá avanzar hacia un modelo energético más moderno, competitivo y justo, inspirado parcialmente en la experiencia española pero adaptada integralmente a su propia realidad territorial.

Recomendaciones

Se recomienda fortalecer la planificación energética de largo plazo en Colombia mediante políticas públicas estables, mecanismos regulatorios claros y estrategias orientadas a la diversificación de la matriz energética. Asimismo, resulta necesario impulsar el desarrollo de infraestructura de transmisión, almacenamiento energético y modernización de las redes eléctricas, con el fin de facilitar la integración eficiente de fuentes renovables no convencionales y reducir la dependencia hidroeléctrica frente a fenómenos climáticos extremos.

De igual manera, se sugiere promover modelos de transición energética adaptados a las particularidades territoriales y sociales del país, fortaleciendo los mecanismos de participación comunitaria, gobernanza local y distribución equitativa de beneficios en las regiones donde se desarrollen proyectos energéticos.

Finalmente, se recomienda fomentar la innovación tecnológica, la formación de cadenas de valor industriales y la cooperación internacional, tomando como referencia algunas estrategias implementadas en España y ajustándolas al contexto colombiano para avanzar hacia una transición energética más resiliente, sostenible y competitiva.

Bibliografía

- AmCham Colombia. (2023). *Incorporación de las energías renovables: cómo avanza la la transición energética en Colombia*. <https://amchamcolombia.co/business-mail/edicion-187-sostenibilidad-transicion-energetica-2023/incorporacion-de-las-energias-renovables-como-avanza-la-transicion-energetica-en-colombia/>
- Argus Media. (2024). *Colombia's renewables grow, but gap looms*. <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2675727/colombia-s-renewables-grow-but-gap-looms>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2025). *Licencia Ambiental Solar con Diseño Optimizado: un hito para la energía limpia en Colombia*. <https://www.anla.gov.co/noticias-anla/licencia-ambiental-solar-con-diseno-optimizado-un-hito-para-la-energia-limpia-en-colombia>
- BBVA Research. (15 de marzo de 2025a). *Spain – The power grid, the overlooked cornerstone of the energy transition*. <https://www.bbvarsearch.com/en/publicaciones/spain-the-power-grid-the-overlooked-cornerstone-of-the-energy-transition/>
- BBVA Research. (2025b). *Spain: Renewable energy deployment and employment dynamics in Spanish provinces*. <https://www.bbvarsearch.com/en/publicaciones/spain-renewable-energy-deployment-and-employment-dynamics-in-spanish-provinces/>
- Bernal, C., et al. (2014). *Fundamentos de investigación*. México: Pearson Educación.
(Disponible en Biblioteca Virtual ULA, colección Pearson).
- Caixa Rural Gallega. (5 de agosto de 2024). *El futuro de las energías renovables en España: ¿De país consumidor a exportador?*

<https://www.caixaruralgalega.gal/es/sostenibilidad/futuro-energias-renovables-espana-pais-consumidor-exportador>

Celsia S.A. (2024). *Ya está funcionando en Colombia el innovador sistema de baterías conectado a una granja de energía solar* [Nota de prensa].

<https://www.celsia.com/es/noticias/ya-esta-funcionando-en-colombia-el-innovador-sistema-de-baterias-conectado-a-una-granja-de-energia-solar/>

Comisión Europea. (2023). *European circular economy action plan: Progress report on renewable energy technologies*. <https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (26 de diciembre de 2024). *Energía renovable en Colombia: Resolver el trilema energético*.

<https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Planeacion/Paginas/energia-renovable-en-colombia-resolver-el-trilema-energetico.aspx>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). *Política para la transición energética justa en Colombia (CONPES 4075)*. <https://colaboracion.dnp.gov.co>

Ecopetrol S.A. (2024). *Plan de hidrógeno bajo en carbono de Ecopetrol* [Nota de prensa].

Energía Estratégica. (20 de diciembre de 2024). *Las energías renovables generan el 56 % del mix eléctrico español en 2024*. <https://strategicenergy.eu/las-energias-renovables-generan-el-56-del-mix-electrico-espanol-en-2024/>

Energy Box. (20 de agosto de 2024). *Employment in Spain's energy sector grows by 13.3% to 97,960 in 2024*. <https://www.energy-box.com/post/employment-in-spain-s-energy-sector-grows-by-13-3-to-97-960-in-2024>

- Energía Evolucionada (s.f). *Parques eólicos en España*. <https://energiaevolucionada.org/energias-renovables/eolica/parques-eolicos-espana/>
- Enel Green Power. (2024a). *Parque Solar Guayepo I & II*. <https://www.enel.com.co/es/energias-renovables-egp/parque-guayepo.html>
- Enel Green Power. (2024b). *La Loma Solar Project*. <https://www.enelgreenpower.com/our-projects/operating/la-loma-solar-project>
- Escuela Superior de Administración Pública (ESAP). (s. f.). *Beneficios económicos de la energía renovable en Colombia*.
<https://revistas.esap.edu.co/index.php/admindesarro/article/view/795>
- European Environment Agency (6 de noviembre, 2025). *Porcentaje del consumo energético procedente de fuentes renovables en Europa*.
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/share-of-energy-consumption-from>
- Eurostat (2025). *Análisis del panorama energético en Europa – Edición 2025*.
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/energy-2025>
- Fabra, N., Gutiérrez, E. Lacuesta, A., Ramos, R. (2024). Do renewable energy investments create local jobs? *Social Science Research*, 239.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0047272724001488>
- García-Torres, J. (2017). *Estudio comparativo entre las diferentes fuentes de energía eléctrica en Colombia y la generación de electricidad a partir de biomasa*. arXiv.
<https://arxiv.org/pdf/1706.08441>
- Geels, F. W., Sovacool, B., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). Sociotechnical transitions for deep decarbonization. *Science*, 357(6357), 1242–1244.
<https://doi.org/10.1126/science.aao3760>

Global Energy Monitor. (junio de 2024a). *Wind & Solar in Spain brief*.

<https://www.globalenergymonitor.org/wp-content/uploads/2024/06/GEM-wind-solar-Spain-brief-June2024.pdf>

Global Energy Monitor. (2024b). *Global Solar Power Tracker 2024*.

<https://globalenergymonitor.org>

Gobierno de España. (20 de febrero de 2015). *Real Decreto 110/2015, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Boletín Oficial del Estado.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-1762>

International Energy Agency (IEA). (2023a). *Colombia 2023: Energy policy review*.

<https://www.iea.org/reports/colombia-2023>

International Energy Agency (IEA). (2023b). *Colombia: Energy profile – Analysis*.

<https://www.iea.org/reports/colombia-energy-profile>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change*. Cambridge University Press.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2023). *Normas ISO 14001 e ISO 50001 en la gestión ambiental y energética*. <https://www.icontec.org>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2024). *Balance hídrico nacional y escenarios de cambio climático para Colombia 2024*.

<https://www.ideam.gov.co>

Iberdrola España. (2024). *Impacto económico en España 2024*.

<https://www.iberdrolaespana.com/press-room/news/economic-impact-spain-2024>

International Renewable Energy Agency (IRENA). (4 de abril de 2025). *Renewables in 2024: Five key facts behind a record-breaking year*.

<https://www.irena.org/News/articles/2025/Apr/Renewables-in-2024-5-Key-Facts-Behind-a-Record-Breaking-Year>

IPSE – Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. (s. f.). *Marco regulatorio colombiano referente a Zonas No Interconectadas (ZNI)*.

https://ipse.gov.co/documento_prensa/documento/documentos_de_%20investigacion/Articulo%20Mundoel%20C3%A9ctrico.pdf

IPSE – Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. (2023). *Boletín Datos IPSE, octubre 2023*. <https://www.ipse.gov.co/wp-content/uploads/2023/10/Boletin%20Datos%20IPSE%20Octubre%202023.pdf>

Jin, Y., Behrens, P., Tukker, A., & Scherer, L. (2019). Water use of electricity technologies: A global meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 115*, 109391.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109391>

J.P. Morgan (s.f). *América Latina ante el nuevo mapa de energía y geopolítica*.

<https://privatebank.jpmorgan.com/latam/es/insights/markets-and-investing/el-pulso-de-america-latina/america-latina-ante-el-nuevo-mapa-de-energia-y-geopolitica>

La Sexta. (10 de febrero de 2023). *El mapa de las placas solares en España: cuándo el beneficio empresarial prima sobre el impacto medioambiental*.

https://www.lasexta.com/programas/equipo-investigacion/mapa-placas-solares-espana-cuando-beneficio-empresarial-prima-impacto-medioambiental_2023021063e6bd9154dfc0000124ecce.html

Le Monde. (22 de mayo de 2025). *In Spain, controversy has flared over the rapid acceleration of the energy transition*. <https://www.lemonde.fr/en/economy/article/2025/05/22/in-spain->

[controversy-has-flared-over-the-rapid-acceleration-of-the-energy-transition_6741515_19.html](#)

Low-Carbon Power. (2024a). *Colombia electricity generation mix 2024/2025*.

<https://lowcarbonpower.org/region/Colombia>

Low-Carbon Power. (2025b). *Colombia electricity mix*.

<https://lowcarbonpower.org/region/Colombia>

López, A. R., Krumm, A., Schattenhofer, L., Burandt, T., Montoya, F. C., Oberländer, N., & Oei, P. Y. (2020). Solar PV generation in Colombia: A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market. *Renewable Energy*, 148, 1266–1279.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.066>

McKinsey & Company. (2024). *The Iberian green industrial opportunity: Seizing the moment*.

<https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-iberian-green-industrial-opportunity-seizing-the-moment>

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia [MinCiencias] (2023). *Documento de política de transición energética*.

https://minciencias.gov.co/sites/default/files/2403_documento_de_politica_transicion_en_energetica_1.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024a). *Lineamientos de zonificación*

ambiental para el desarrollo de energías renovables. <https://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024b). *Estrategia de gestión integral de*

residuos en energías limpias. <https://www.minambiente.gov.com>

Ministerio de Minas y Energía. (7 de febrero de 2024a). *Minenergía establece lineamientos de política pública para viabilizar la entrada de proyectos de FNCER* [Comunicado de

prensa]. <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/minenerg%C3%ADa-establece-lineamientos-de-pol%C3%ADtica-p%C3%BAblica-para-viabilizar-la-entrada-de-proyectos-de-fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fincer/>

Ministerio de Minas y Energía. (2024b). *Diagnóstico base para la transición energética justa.*

https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2._Diagn%C3%93stico_base_para_la_TEJ.pdf

Ministerio de Minas y Energía de Colombia (MinEnergía). (2024c). *Colombia supera los 3 gigavatios de energías limpias en su matriz energética.*

<https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/colombia-supera-3-gigavatios-energias-limpias-matriz-energetica/>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2005). *Justificación y objeto del Plan de Energías Renovables en España.*

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files1/desarrollo/EnergiaRenovable/Plan/Documentos/DocumentoCompleto/2Cap2_Justificacion.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2023a). *Inventario nacional de emisiones de contaminantes IIR-2024.*

<https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es-iir-edicion-2024.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2023b). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2023-2030 (PNIEC 23-30).*

<https://www.miteco.gob.es/es/energia/estrategia-normativa/pniec-23-30.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2024a). *Resumen no técnico del Estudio Ambiental Estratégico – Actualización del PNIEC 2023-2030*.

<https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/participacion-publica/consulta-publica-eae-pniec-2023-2030/Resumen-EsAE-actualizacion-PNIEC-2023-2030.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2024b).

Información pública del Estudio Ambiental Estratégico del PNIEC 2023-2030.

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/consulta-publica-eae-pniec-2023-2030.html>

Noya, C. (7 de enero de 2025). *Las energías renovables alcanzan el 55,8 % de la producción eléctrica en España en 2024*. Foro Coches Eléctricos.

<https://forococheselectricos.com/2025/01/generacion-electrica-espana-2024.html>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://sdgs.un.org/goals/goal7>

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023a). *Distributed renewable energy in Colombia*.

https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/05/distributed-renewable-energy-in-colombia_6bc6efb0-en.pdf

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023b). *Energy transition and environmental health in Latin America*. <https://www.oecd.org/environment>

Pachauri, S., & Brew-Hammond, A. (2012). Energy access for development. *The Annual Review of Environment and Resources*, 37, 193–222.

- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PANCC). (2024). *Estrategia nacional de adaptación sectorial*. <https://www.minambiente.gov.co>
- Power Technology. (2024). *Hydropower in Spain: Data insights*. <https://www.power-technology.com/data-insights/hydropower-in-spain/>
- PV Magazine. (4 de julio de 2024). *Colombia's PV capacity hits 1.2 GW*. <https://www.pv-magazine.com/2024/07/04/colombias-pv-capacity-hits-1-2-gw>
- Rated Power. (26 de agosto de 2025). *Achieving solar growth in Iberia amidst connection challenges*. <https://ratedpower.com/blog/solar-growth-iberia-connection-challenges/>
- Red Eléctrica de España (REE). (2023). *Potencia instalada (agua) 2023* [Informe del sistema eléctrico peninsular]. <https://www.sistemaelectrico-ree.es/es/2023/informe-de-energias-renovables/agua/potencia-instalada-agua>
- Red Eléctrica de España (REE). (9 de enero de 2025a). *Renewable energies generated 56 per cent of Spain's electricity mix in 2024*. <https://www.ree.es/en/press-office/press-release/news/press-release/2025/01/renewable-energies-generated-56-per-cent-spains-electricity-mix-2024>
- Red Eléctrica de España (REE). (18 de marzo de 2025b). *La producción renovable crece en España un 10,3 % y alcanza sus mayores registros* [Nota de prensa]. <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2025/03/la-produccion-renovable-crece-en-Espana-un-10-3-por-ciento-2024-alcanza-mayores-registros>
- Red Eléctrica de España (REE). (18 de marzo de 2025c). *Electricity generation from renewable energies in Spain grows by 10.3% in 2024, reaching record levels*. <https://www.ree.es/en/press-office/news/press-release/news/press->

[release/2025/03/electricity-generation-from-renewable-energies-in-spain-grows-by-10-3-in-2024-reaching-record-levels](https://www.sistemaelectrico-ree.es/en/renewable-energies-report/water/installed-capacity-water)

Red Eléctrica de España (REE). (2024a). *Potencia instalada de energía hidráulica – Informe de energías renovables*. <https://www.sistemaelectrico-ree.es/en/renewable-energies-report/water/installed-capacity-water>

Red Eléctrica de España (REE). (30 de enero de 2024b). *La demanda de energía eléctrica en España aumenta un 1,1 % en enero* [Nota de prensa]. <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2024/01/la-demanda-de-energia-electrica-en-espana-aumenta-un-1-1-por-ciento-en-enero>

Red Eléctrica de España (REE). (2024c). *Installed capacity of solar thermal energy in Spain – Renewable energies report*. <https://www.sistemaelectrico-ree.es/en/renewable-energies-report/sun/installed-capacity/solar-thermal-sunpower>

Reuters. (12 de junio de 2024a). *Spain risks missing 2030 wind energy target, think-tank says*. <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/spain-risks-missing-2030-wind-energy-target-think-tank-says-2024-06-12/>

Reuters. (2024b). *Celsia/Guajira: Delays due to social opposition and permits*. <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/>

Rico, C. G. (18 de noviembre de 2024). *Normativas y cómo afectan a las renovables en España*. Energías Renovables. <https://www.energias-renovables.com/schneider-electric/normativas-y-como-afectan-a-las-renovables-20241115>

SolarPACES. (2024). *CSP potential and operating plants in Spain*. <https://www.solarpaces.org/worldwide-csp/csp-potential-solar-thermal-energy-by-country/spain/>

- Statista. (2024). *Share of hydraulic generation in the total generation in Spain from 2007 to 2024*. <https://www.statista.com/statistics/1045712/share-of-the-hydraulic-generation-in-the-total-generation-spain>
- Stockholm Environment Institute (SEI). (2023). *Energía solar y eólica en Colombia: Panorama y resumen de políticas 2022*. <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2023/03/solar-eolica-colombia-sei2023.016.pdf>
- Stockholm Environment Institute (SEI). (2025a). *Solar, wind power and energy communities in Colombia: Policy overview*. <https://www.sei.org/publications/solar-wind-power-energy-communities-colombia-2025-policy/>
- Stockholm Environment Institute (SEI). (2025b). *Renewable expansion and socio-environmental conflicts in northern Colombia*. <https://www.sei.org>
- Strategic Energy. (24 de octubre de 2025). *Spain nears 54% renewable generation in September driven by solar photovoltaics*. <https://strategicenergy.eu/spain-nears-54-renewable-generation-in-september-driven-by-solar-photovoltaics/>
- The Guardian. (5 de abril de 2024). *'New colonialism': Colombia green energy windfarms face resistance from Indigenous Wayuu*. <https://www.theguardian.com/global-development/2024/apr/05/new-colonialism-colombia-green-energy-windfarms-resistance-indigenous-wayuu>
- Trade.gov – International Trade Administration. (2024). *Spain – Country commercial guide: Energy*. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/spain-energy>
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable energy resources* (3rd ed.). Routledge.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2024a). *Plan indicativo de expansión de generación 2023-2037*.

https://www1.upme.gov.co/siel/Plan_expansin_generacion_transmision/Plan_indicativo_expansion_de_la_generacion_actu_2023_2037.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2024b). *Informe de prospectiva energética y gestión de residuos de tecnologías renovables*. <https://www1.upme.gov.co>

United Nations. (18 de mayo de 2022). *Powering a safer future: Renewable energy*. <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

Vaclav Smil. (2020). *Renewable energy consumption*, world. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/grapher/renewable-energy-consumption>

Vector Renewables. (10 de mayo de 2023). *Water footprint and how do renewables impact it?*

Vector Renewables. <https://www.vectorenewables.com/en/blog/water-footprint-and-how-do-renewables-impact-it>

Water Footprint Network. (2015). *The consumptive water footprint of electricity and heat: A global assessment*. Water Footprint Network.

<https://waterfootprint.org/en/resources/publications/the-consumptive-water-footprint-of-electricity-and-heat-a-global-assessment/>

XM S.A. E.S.P. (2024). *Boletín del Sistema Interconectado Nacional (SIN)*. <https://www.xm.com.co>