

**Energías renovables no convencionales en Colombia: actualidad, políticas y proyecciones  
de crecimiento.**

Mary Luz Gutierrez Garcia

Asesor

Luis Alejandro Duarte Rodríguez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Ingeniería Ambiental

2025

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de monografía como opción de grado primeramente a Dios por darme la vida, salud y fortaleza. A mí, por no rendirme y terminar esta carrera con la que algún día inicié con mucha emoción y esfuerzo, demostrándome que todo lo que me proponga sin duda lo voy a lograr. A mis hijos hermosos María Soffía y Leo Alejandro, quienes son el motor que día a día me impulsan a seguir adelante, gracias infinitas por existir. A mi esposo Sergio, gracias por ser ese apoyo incondicional en mi vida. A mi madre María Domitila, gracias por ser mi gran soporte familiar junto a mis hermanos Mireya y Fernando. Ya para finalizar, a mi padre Guillermo, quien ya no se encuentra en este plano terrenal pero que estuvo presente con mucho entusiasmo y apoyo cuando inicié mi carrera de ingeniería ambiental.

### **Agradecimientos**

Primeramente, agradezco a Dios por darme la fuerza para culminar este proceso académico. A mi familia por su ánimo, apoyo y comprensión, gracias por contar con ustedes. Agradezco a mi director Luis Alejandro Duarte, por brindarme su valioso tiempo y conocimiento para orientarme, pues su acompañamiento ha sido clave en este proceso. Ya para finalizar agradezco a la UNAD por darme la oportunidad de terminar mi carrera profesional, siendo mi gran aliada para sacar mis estudios a distancia.

## Resumen

La presente monografía busca hallar el nivel de integración en que se encuentran las Fuentes no Convencionales de Energía Renovable (FNCER) dentro de la matriz energética en Colombia, además de observar el papel que desempeñan en el proceso de transición energética hacia un modelo energéticamente más diversificado, resiliente y sostenible. Esta revisión resalta el potencial energético del país, como la energía solar, eólica y en menor proporción la energía de biomasa. De igual forma, se hace exploración de los avances de proyectos y políticas con los que el gobierno actual pretende cumplir con las metas energéticas a nivel país, junto a compromisos climáticos internacionales adquiridos hacia los años 2030 y 2050. Esta exploración se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica de tipo normativo y documental. Las fuentes primarias utilizadas incluyen el Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052, informes emitidos por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), documentos del Ministerio de Minas y Energía (MINENERGÍA), y otra legislación relevante producida por las autoridades competentes del sector energético en Colombia. El documento resultante está estructurado en cinco secciones, cuyo contenido se presentará de manera concisa a lo largo de la introducción. Colombia actualmente ha logrado avances importantes en la diversificación de la matriz energética, donde las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) logran ocupar el 7,4 % o lo equivalente a 1.530,4 MW para finales del año 2024, después de mantenerse históricamente en el 1% de participación (UPME, 2025a). De acuerdo con la proyección del PEN 2022 – 2052 en el escenario más alcanzable (inflexión), pero con metas ambiciosas, se pretende alcanzar para fin de periodo más de 37.000 MW de capacidad instalada entre todas las FNCER.

**Palabras clave:** Plan energético Nacional (PEN), Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), transición energética, matriz energética, sistema energético.

## Abstract

This monograph seeks to determine the level of integration of Non-Conventional Renewable Energy Sources (NCRES) within Colombia's energy matrix, as well as to examine their role in the energy transition process toward a more diversified, resilient, and sustainable energy model. This review highlights the country's energy potential, including solar, wind, and, to a lesser extent, biomass energy. It also explores the progress of projects and policies with which the current government intends to meet national energy goals, along with international climate commitments made for 2030 and 2050. This exploration was carried out through a literature review of regulatory and documentary sources. The primary sources used include the National Energy Plan (PEN) 2022-2052, reports issued by the Mining and Energy Planning Unit (UPME), documents from the Ministry of Mines and Energy (MINENERGÍA), and other relevant legislation produced by the competent authorities in the Colombian energy sector. The resulting document is structured in five sections, the content of which will be presented concisely throughout the introduction. Colombia has currently made significant progress in diversifying its energy matrix, with Non-Conventional Renewable Energy Sources (NCRES) reaching 7.4%, or the equivalent of 1,530.4 MW, by the end of 2024, after historically remaining at 1% (UPME, 2025a). According to the National Energy Plan (PEN) 2022–2052 projection, in the most achievable scenario (inflection point), but with ambitious goals, the aim is to reach more than 37,000 MW of installed capacity from all NCRES by the end of the period.

**Keywords:** National Energy Plan (PEN), Non-Conventional Renewable Energy Sources (NCRES), energy transition, energy matrix, energy system.

## Indice

Introducción.....	11
Justificación.....	14
Objetivos.....	16
Planteamiento del Problema.....	17
Evolución y Situación Actual de las ERNC en Colombia.....	19
Planificación Energética y Objetivos Estratégicos.....	45
Políticas, Avances y Brechas en la Integración de ERNC.....	111
Brechas y Limitaciones Durante la Integración de las ERNC.....	121
Análisis de Viabilidad y Perspectivas Futuras.....	137
Conclusiones.....	155
Recomendaciones.....	156
Referencias Bibliográficas.....	163

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Número de Proyectos Vigentes</i> .....	29
<b>Tabla 2</b> <i>Número de Proyectos Vigentes por Departamento con Corte 30 Noviembre del Año 2024</i> .....	32
<b>Tabla 3</b> <i>Número de Proyectos Vigentes por Rango de Potencia</i> ... ..	35
<b>Tabla 4</b> <i>Pilares Plan Energético Nacional 2022-2052</i> .....	52
<b>Tabla 5</b> <i>Indicadores de Seguimiento de Objetivos del PEN 2022-2052</i> .....	54
<b>Tabla 6</b> <i>Marco normativo de Uso e Implementación de Energías Renovables no Convencionales</i> .....	115
<b>Tabla 7</b> <i>Porcentaje de Disminución de Emisiones Contaminantes Respecto al Consumo Final de Energías Renovables en Colombia en Comparación con la Línea base de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC)</i> .....	130

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Composición de la Oferta Primaria Energética de Colombia Para el Año 2020 Frente a todo el Mundo, Centro y Suramérica.</i> .....	25
<b>Figura 2</b> <i>Transición de la Oferta Energética Primaria en Colombia entre los Años 1975, 1990 y 2021.</i> .....	26
<b>Figura 3</b> <i>Matriz Energética Año 2022.</i> .....	27
<b>Figura 4</b> <i>Capacidad Instalada en Proyectos de Cogeneración y Autogeneración en Colombia</i>	28
<b>Figura 5</b> <i>Porcentaje de Proyectos Vigentes</i> .....	30
<b>Figura 6</b> <i>Número de Proyectos Vigentes</i> .....	31
<b>Figura 7</b> <i>Potencia total de Proyectos Vigentes MW.</i> .....	36
<b>Figura 8</b> <i>Capacidad de Proyectos Vigentes por Departamento (MW).</i> .....	37
<b>Figura 9</b> <i>Evolución del Número de Proyectos Vigentes de Energías Renovables en Colombia 2022-2024</i> .....	39
<b>Figura 10</b> <i>Fase en Que se Encuentra Cada Uno de los Proyectos Vigentes</i> .....	40
<b>Figura 11</b> <i>Capacidad Instalada Neta de las FNCER en los Ultimos Tres Años (MW).</i> .....	42
<b>Figura 12</b> <i>MW en Operación y Construcción Proyectado a 2025.</i> .....	44
<b>Figura 13</b> <i>Pilares Estratégicos PEN 2024–2054</i> .....	46
<b>Figura 14</b> <i>Pilares y objetivos del Plan Energético Nacional 2032- 2052.</i> .....	51
<b>Figura 15</b> <i>Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo – Escenario Actualización (Mt CO<sub>2</sub>eq-año).</i> .....	64
<b>Figura 16</b> <i>Producción Total Energética (PJ-año) – Escenario actualización</i> .....	65
<b>Figura 17</b> <i>Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética - Escenario Actualización (MW).</i> .....	66

<b>Figura 18</b> <i>Participación Acumulada por Cada Fuente – Escenario Actualización (MW)</i> . .....	67
<b>Figura 19</b> <i>Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo – Escenario Modernización (Mt CO<sub>2</sub>eq-año)</i> .....	71
<b>Figura 20</b> <i>Producción Total de Energética – Escenario Modernización (PJ-año)</i> .....	73
<b>Figura 21</b> <i>Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética - Escenario Actualización (MW)</i> . .....	75
<b>Figura 22</b> <i>Participación Acumulada por Cada Fuente Energética - Escenario de Modernización (PJ-año)</i> . .....	76
<b>Figura 23</b> <i>Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo - Inflexión (Mt CO<sub>2</sub>eq-año)</i> . .....	80
<b>Figura 24</b> <i>Evolución en la Producción Total Energética en Colombia - Inflexión (PJ-año)</i> .....	82
<b>Figura 25</b> <i>Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética – Escenario Inflexión (MW)</i> .....	83
<b>Figura 26</b> <i>Evolución de la Participación Acumulada por Tipo de Fuente Energética a Largo Plazo – Escenario Inflexión (PJ-año)</i> .....	84
<b>Figura 27</b> <i>Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo – Escenario Innovación (Mt CO<sub>2</sub>eq año)</i> . .....	88
<b>Figura 28</b> <i>Producción Total de Energía - Innovación (PJ-año)</i> . .....	90
<b>Figura 29</b> <i>Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética - Escenario Innovación (MW)</i> . .....	91
<b>Figura 30</b> <i>Participación Acumulada por Tipo de Fuente Energética – Escenario Innovación (PJ-año)</i> . .....	93

<b>Figura 31</b> <i>Límite Superior e Inferior de Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo – Escenario Transición Energética (Mt CO<sub>2</sub>eq-año)</i> .....	98
<b>Figura 32</b> <i>Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética – Escenario Transición Energética (MW)</i> . ....	100
<b>Figura 33</b> <i>Participación Acumulada por Tipo de Fuente Energética – Transición Energética (PJ-año)</i> . ....	101
<b>Figura 34</b> <i>Hoja de Ruta Nacional para el Desarrollo del Hidrógeno en Colombia</i> .....	104
<b>Figura 35</b> <i>Objetivos Establecidos a Nivel Nacional para el Hidrógeno de Bajas Emisiones para el Año 2030</i> .....	107
<b>Figura 36</b> <i>Estrategia Nacional del Hidrógeno de Bajas Emisiones en Colombia a 2050</i> .....	108
<b>Figura 37</b> <i>Capacidad Instalada de las FNCER Recientemente en Colombia Frente a Capacidad Instalada Proyectada a 2032-2052 (MW)</i> .....	145
<b>Figura 38</b> <i>Capacidad MW de Proyectos Registrados de FNCER en Fase de Construcción</i> .....	147
<b>Figura 39</b> <i>Porcentaje Actual de Participación de las FNCER Frente a la Meta Proyectada para 2052</i> .....	150
<b>Figura 40</b> <i>Emisiones Atmosféricas Actuales vs la Proyección de Emisiones Escenarios 2032-2052</i> .....	152
<b>Figura 41</b> <i>Factores Habilitantes para la Implementación de Proyectos Energéticos de FNCER</i> . .....	156

## Introducción

En los últimos tiempos tanto la producción como el consumo energético ha sufrido una transformación profunda, teniendo en cuenta una serie de factores determinantes que han obligado a generar este cambio: la disminución y agotamiento de combustibles fósiles junto a los efectos del cambio climático más la suma del creciente interés por lograr la seguridad energética, ha llevado a muchos países del mundo a realizar un ajuste en su matriz energética (IRENA, 2023). Colombia es uno de esos países que se han sumado a esta gran labor de diversificar su matriz energética en busca de un sistema más sostenible, bajo en carbono y más resiliente ante cualquier afectación natural o antropogénica al sistema energético. De acuerdo con esto, las FNCER como solar, eólica y biomasa se han convertido en un papel fundamental dentro del proceso estratégico de transición energética. Dar inicio es un gran paso hacia la búsqueda de metas, ya que como lo menciona el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, descarbonizar el sector energético es la clave para evitar el aumento acelerado del calentamiento global (IPCC, 2023).

Colombia a lo largo de la historia ha dependido en gran medida de fuentes convencionales, especialmente de energía hidroeléctrica, lo que la hace una matriz relativamente limpia, sin embargo, al ser un recurso natural se ha visto afectado por las variables climáticas que experimenta el país, entre los más destacados el fenómeno del niño y el fenómeno de la niña, evitando de esta manera que pueda llegar a ofrecer a los usuarios una seguridad energética. Debido a esto, el país ha adquirido compromisos nacionales e internacionales en pro de la mitigación del cambio climático y la diversificación de su matriz energética a través de la integración de energías renovables no convencionales dentro de su Plan Energético Nacional (PEN), lo cual busca hacer

la transición a fuentes renovables no convencionales y así lograr una economía baja en carbono (IRENA, 2023).

A partir del año 2014 con la implementación de la ley 1715 se ha venido avanzando con incentivos, normas regulatorias y otros mecanismos que han permitido el fomento de las FNCER, sin embargo, a la fecha continúa la persistencia de algunos desafíos que han limitado su expansión, como los conflictos sociales, la falta de infraestructura, obstáculos a nivel normativo que afectan el inicio de los proyectos que van a desarrollo, la falta de inversión, entre otros. Todo esto ha generado cierto nivel de inseguridad con respecto al cumplimiento de metas a mediano y largo plazo. Después de todo el PEN 2022-2052 dentro de su estrategia a largo plazo, tiene estipulado una creciente participación de las FNCER dentro de la matriz energética, por lo que a futuro dentro de los escenarios pactados se espera fortalecer la seguridad energética junto a la neutralización de emisiones (UPME, 2024a).

Esta monografía tiene como fin analizar por medio de una revisión bibliográfica, los niveles de integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, así como sus políticas de promoción y proyección para los años 2030 y 2050, teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo a nivel nacional y los compromisos climáticos a nivel internacional para de esta manera llegar a determinar el efecto de dichas energías renovables y saber si son viables y de paso amables con el medio ambiente.

El desarrollo del presente trabajo está compuesto por 5 secciones fundamentales, en la primer sección aborda todo el contexto de las FNCER en Colombia, en la segunda sección expone la planificación energética del país junto a los objetivos estratégicos, en la tercer sección se analiza los avances normativos y políticas así como las brechas existentes en la implementación de las FNCER, en la cuarta sección se analiza la viabilidad de las metas a fin de periodo proyectado,

teniendo en cuenta los escenarios de proyección frente a la condición y situación actual del país. Finalmente, la quinta sección se compone de las oportunidades que ofrece el país para llevar a cabo un proceso de transición energética justa y sostenible.

## Justificación

Colombia enfrenta el desafío de acelerar su transición energética para mitigar el impacto ambiental de la generación basada en combustibles fósiles y garantizar la seguridad del suministro. Es crucial analizar la actualidad de las políticas y proyecciones de crecimiento de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), como la solar, eólica y biomasa. Estas fuentes son vitales porque reducen la dependencia de recursos contaminantes, disminuyen la huella de carbono y contribuyen significativamente al desarrollo sostenible a largo plazo. Su adopción no solo ofrece beneficios ambientales, sino también económicos y sociales al diversificar la matriz y optimizar costos energéticos (Reyes et al., 2023). Este estudio es pertinente porque aborda una temática crucial para la resiliencia energética del país.

A pesar del potencial, la matriz eléctrica colombiana aún depende predominantemente de la generación hidráulica (cerca del 65%) y térmica (alrededor del 29%), mientras que la participación de las ERNC (incluyendo cogeneración) apenas supera el 5% (UPME, 2025a). Aunque las proyecciones indican un crecimiento, con una capacidad instalada de ERNC estimada en un 21% para 2030 (Interempresas, 2023), este avance está supeditado a la eficacia de las políticas gubernamentales y a la superación de desafíos asociados a la vinculación de estas nuevas energías al Sistema Interconectado Nacional. Este panorama evidencia una necesidad urgente de comprender y reforzar los mecanismos que faciliten la expansión de la biomasa, eólica y solar, asegurando una mayor seguridad energética y el cumplimiento de metas ambientales.

Colombia ha reconocido su gran potencial geográfico y climático para la generación renovable, lo que ha impulsado al Gobierno a establecer políticas y estrategias para fomentar las ERNC y reducir la dependencia de los hidrocarburos (CONPES, 2022). Si bien los gobiernos han mostrado interés en la transición, la trayectoria histórica de los últimos 14 años revela una

implementación lenta, marcada por barreras regulatorias, tecnológicas y financieras que persisten a pesar de los cambios en las administraciones. Abordar el marco normativo desde 2014 resulta pertinente, ya que permite identificar las continuidades o fallas estructurales que han dificultado una masiva y efectiva penetración de las ERNC, representando una oportunidad para la identificación de lecciones aprendidas.

Por lo tanto, esta monografía, al analizar los niveles de integración y el marco normativo para las metas de 2030 y 2050, proporciona un aporte académico y social significativo. A nivel institucional, el trabajo se alinea con la misión de la UNAD y la escuela ECAPMA de promover soluciones sostenibles y ambientales, contribuyendo directamente al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 7 (Energía Asequible y No Contaminante) y ODS 13 (Acción por el Clima). Los hallazgos ofrecen información sólida para la formulación de políticas y estrategias de largo plazo, impulsando la transición, facilitando la planificación estratégica, y atrayendo inversiones al sector renovable al generar confianza en las proyecciones y el marco regulatorio del país.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar el nivel de integración de las ERNC en la matriz energética de Colombia, identificando los principales retos regulatorios, tecnológicos y financieros que el país debe superar, con base en el marco normativo actual, para el cumplimiento de sus metas de transición y penetración energética a 2030 y 2050.

### **Objetivos Específicos**

Evaluar los objetivos trazados en los planes energéticos del 2030 y 2050, bajo la perspectiva del reconocimiento de los niveles de implementación de energías renovables no convencionales en el país.

Estudiar el marco normativo, políticas y/o mecanismos aplicables desde el año 2014 que han sido establecidos en el país, cuyo fin es el fomento de la integración de las energías renovables no convencionales dentro del sistema energético nacional.

Establecer las principales ventajas y desafíos que tendría que superar el país a fin de lograr el cumplimiento de las metas trazadas al 2050, con base al marco normativo actual y los niveles de integración alcanzados hasta el momento.

## Planteamiento del Problema

El desarrollo mundial ha traído consigo una serie de revoluciones tecnológicas y de implementación de industrialización que, si bien conllevan a la satisfacción de la demanda del mercado, también representa un problema grave de contaminación que causa millones de muertes en todo el mundo además de un impacto negativo en la salud de los seres vivos y en el medio ambiente (ONU, 2017). Cabe resaltar que de acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (2024) existe un 80% de probabilidad de que el calentamiento global llegue a superar de manera temporal los 1,5°C en los próximos 5 años, es decir, que existen impactos altamente significativos los cuales causarán afectación en el bienestar y calidad de vida en todo el planeta.

Por otro lado, los procesos industriales deben validar la implementación de energías renovables; puesto que, su uso tan sólo corresponde con el 20% de la energía total generada, lo cual significa que el 80% restante corresponde al uso de combustibles fósiles, como por ejemplo el carbón y el petróleo, que, a su vez, genera un aumento exponencial de los gases efecto invernadero (GEI), impactando en los daños a los ecosistemas y a la regeneración ambiental (ONU, 2022). Por lo tanto, es importante consolidar escenarios de incorporación de las energías alternativas y limpias para minimizar el impacto del cambio climático con un porcentaje de electricidad proveniente de fuentes de energías renovables no convencionales, lo que supondrá una mejoría notable (Reyes et al., 2023).

Por ende, a pesar de que el país cuenta con un gran potencial para la generación de energía limpia a partir de fuentes renovables como la solar, la eólica y la geotérmica, la adopción de estas tecnologías aún se encuentra en una etapa inicial y su penetración en el mercado energético es muy limitada (Minenergía, 2023). Además existe un importante desafío en términos de la implementación de políticas públicas efectivas que permiten la expansión de las

energías renovables no convencionales (ERNC) en Colombia, ya que, a pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno para promover la inversión en este sector, aún existen barreras regulatorias, tecnológicas y financieras que dificultan su adopción masiva (Departamento Nacional de Planeación., 2024).

### **Pregunta de Investigación**

Conforme a lo expuesto previamente, el desarrollo de la presente monografía pretende dar respuesta al siguiente interrogante.

¿Cuál ha sido el nivel de integración de ERNC en la matriz energética y los principales retos que tendrá que superar Colombia, con base en el marco normativo actual para lograr el cumplimiento de sus metas trazadas al 2030 y 2050?

## **Evolución y Situación Actual de las ERNC en Colombia**

La preocupación por diversificar la matriz energética en Colombia y reducir la dependencia hidrotérmica no es reciente, aunque la legislación específica y los grandes proyectos de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), como la solar, eólica y geotérmica, han tomado impulso significativo en las últimas dos décadas. Es importante distinguir que el término "energías alternativas" fue el precursor conceptual, utilizado a nivel global y nacional para referirse a cualquier fuente que no fuera la tradicional (fósil o hidráulica), mientras que "energías renovables" se consolidó para enfatizar aquellas que se reponen naturalmente, siendo las ERNC un subconjunto específico que excluye la gran hidroeléctrica.

### **El Marco Normativo: De lo Escaso a la Expansión**

Hasta hace unos 15 o 20 años, el marco normativo colombiano para las energías renovables era muy escaso, enfocándose principalmente en la eficiencia energética. El primer hito relevante fue la Ley 697 de 2001, la cual fue promulgada con la intención de promover el uso eficiente y racional de la energía. Sin embargo, su alcance para las ERNC era limitado, ya que se concentraba en definir el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE) y establecer pautas generales para las entidades encargadas del sector.

La verdadera expansión normativa de las ERNC se inicia y consolida con la Ley 1715 de 2014, un hito que marca un antes y un después. Esta Ley define y diferencia las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) y las ERNC, establece un régimen de incentivos fiscales y aduaneros (como la deducción del impuesto sobre la renta, exclusión del IVA y exención de aranceles) y crea el marco para la integración de estas fuentes a la matriz nacional. Desde 2014,

el país ha venido acogiendo un marco más robusto con el propósito de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las metas de transición energética trazadas a 2030.

El marco normativo ha sido consolidado por el trabajo conjunto de entidades como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Para mejorar los incentivos y simplificar los procesos, a partir de 2019 se han promulgado normas clave. Los decretos y leyes más importantes a los que se hace referencia incluyen:

### ***Ley 2099 de 2021***

Modificó y amplió la Ley 1715 de 2014, fortaleciendo la política de transición energética y definiendo la "Transición Energética" como un asunto de interés nacional.

### ***Decreto 829 de 2020***

Reglamentó aspectos de la Ley 1715 sobre los mecanismos de promoción e incentivos.

### ***Resoluciones de la CREG (CREG 030 de 2018)***

Establecen las condiciones técnicas y comerciales para la autogeneración a pequeña escala y la generación distribuida, esenciales para la adopción residencial e industrial (Rosa et al., 2023).

## **Generación de Energía a partir de Biomasa, Solar y Eólica en Colombia**

En Colombia, estas tres fuentes son consideradas Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), lo que implica que su desarrollo y promoción son pilares clave de la política de transición energética nacional (Ley 1715 de 2014).

### ***Energía a partir de Biomasa***

La generación de energía a partir de biomasa se refiere a la producción de electricidad o calor mediante el aprovechamiento de la materia orgánica de origen vegetal o animal. En el contexto colombiano, esta fuente abarca residuos agrícolas, forestales, pecuarios y urbanos, así como cultivos energéticos dedicados (MIENERGÍA, 2021).

El proceso de generación se realiza comúnmente mediante la combustión directa de residuos (por ejemplo, el bagazo de caña en el sector azucarero) o mediante la producción de biogás a través de la digestión anaeróbica de materia orgánica, como ocurre con los residuos pecuarios y municipales. Aunque la biomasa presenta un enorme potencial para el uso eficiente de residuos y la generación distribuida, su participación en la matriz es aún marginal, lo que subraya la necesidad de políticas específicas para su desarrollo (UPME, 2024).

### ***Energía Solar***

La energía solar es la generación de electricidad a partir de la radiación solar, siendo la fotovoltaica la tecnología predominante en el país. El proceso implica el uso de paneles compuestos por celdas que transforman directamente la luz solar en corriente eléctrica (CREG, 2018). Dada la ubicación geográfica y la alta irradiancia solar en diversas regiones del país, la energía solar fotovoltaica ha sido la fuente que ha experimentado la expansión más rápida en Colombia, tanto a nivel de grandes parques como en esquemas de autogeneración a pequeña escala (UPME, 2023).

La legislación colombiana, especialmente la Ley 1715 de 2014 y sus regulaciones posteriores, ha ofrecido incentivos fiscales y regulatorios clave para impulsar esta tecnología,

convirtiéndola en el principal motor de la diversificación de la matriz energética (MINENERGÍA, 2021).

### ***Energía Eólica***

La energía eólica es la producción de electricidad mediante el aprovechamiento de la energía cinética del viento. Esto se logra a través de aerogeneradores que convierten el movimiento de las palas en energía mecánica y luego en electricidad (XM, s.f.).

En Colombia, el mayor potencial eólico se concentra históricamente en la región Caribe, particularmente en La Guajira, donde la velocidad y constancia del viento permiten factores de planta superiores a los promedios mundiales (UPME, 2024).

No obstante, la implementación de grandes proyectos eólicos ha enfrentado desafíos relacionados con la infraestructura de transmisión, las consultas previas y la gestión territorial, a pesar de que esta fuente es reconocida como esencial para la estabilidad y descarbonización de la matriz energética a largo plazo (MINENERGÍA, 2021).

### **Planes de Acción y Cambios de Enfoque**

La evolución en la mentalidad y la inclusión de más sistemas se puede trazar en los planes de acción gubernamentales. Un ejemplo de esta evolución es el Plan de Acción lanzado entre 2010 y 2015 bajo la Resolución 18 0919 de 2010. Esta Resolución fue expedida por el Ministerio de Minas y Energía donde su propósito fue promover el uso eficiente a través del uso racional de la energía e incentivar la adopción de fuentes de energía alternativas no convencionales

Posteriormente, la UPME elaboró un Plan de Acción para la Eficiencia Energética, que abarcó los años 2017 - 2022. Este plan tuvo como objetivo evaluar los logros planteados en el

Plan Indicativo de 2015 y establecer acciones estratégicas en respuesta a las demandas globales, enfocándose en la implementación de energías renovables en sectores como el transporte, industrial y comercial. Es notoria la evolución que ha tenido Colombia al punto de contar con un Plan de Eficiencia Energética a nivel Nacional, que asegura el abastecimiento energético y la reducción del impacto ambiental (Rosa et al., 2023). Además, se propuso la creación del Sistema Nacional de Cambio Climático (SNCC), implementado en el Decreto 298 de 2016, que incluye un conjunto de entidades privadas y sin ánimo de lucro dedicadas a acciones e investigaciones sobre gases de efecto invernadero y adaptaciones al cambio climático.

### **Hitos y Desarrollos Significativos de Proyectos**

Gracias a este marco regulatorio en expansión, se han logrado avances en la creación de proyectos solares y eólicos a gran escala, con inversiones tanto del sector público como del privado, contribuyendo al aumento de la capacidad instalada de ERNC. También se han implementado medidas para fomentar la adopción a nivel residencial, comercial e industrial, incluyendo incentivos fiscales y programas de financiamiento.

Colombia viene experimentando la implementación de proyectos de FNCER de manera constante, lo que ha permitido el avance de proyectos en las distintas fases. El informe de seguimiento con corte a abril de 2024 reportaba 322 proyectos registrados, donde 233 eran solares, 46 de energía hidráulica y 32 de energía eólica (UPME, 2024g). A principios de 2024, la UPME certificó la entrada al sistema interconectado de 317 MW, siendo un 90% de proyectos de energía solar (UPME, 2024h).

A pesar de los logros, aún persisten desafíos de regulación e infraestructura que deben superarse para facilitar el ingreso de las FNCER al mercado energético, pero se espera que con el

continuo apoyo gubernamental y la inversión del sector privado, Colombia siga avanzando hacia la diversificación de la matriz energética y la transición a energías limpias, como se estipula en el PEN 2022-2052 (UPME, 2024a).

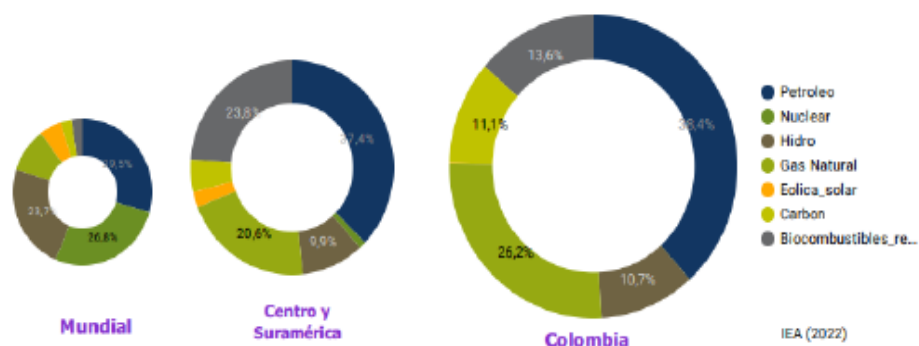
Por otro lado, no debemos olvidar mencionar el SIN. El Sistema Interconectado Nacional (SIN) es la red de transmisión y distribución de energía eléctrica que cubre la mayor parte del territorio colombiano. Según la legislación actual, el SIN se define como el conjunto de todos los elementos que componen la infraestructura necesaria para la generación, interconexión, transmisión y distribución de la energía eléctrica, desde las centrales generadoras hasta los usuarios finales, incluyendo el Sistema de Transmisión Nacional (STN), los Sistemas de Distribución Regional (STR) y la interconexión con el exterior (Ley 143 de 1994, Art. 11; CREG, s.f.).

### **Implementación Actual, Fuentes y Capacidad Instalada**

Como se ilustra en la Figura 1, la oferta energética primaria de Colombia en 2020 dependía en gran medida de los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo), los cuales representaban un 79% del total. Esta dependencia nacional es significativamente mayor que la media de la región, pues en Centroamérica y Suramérica el consumo de estas fuentes era del 62%. Sin embargo, la dependencia colombiana es ligeramente menor que la cifra global, donde los combustibles fósiles representaron cerca del 80% de la energía primaria mundial (UPME, 2024a).

## Figura 1

*Composición de la Oferta Primaria Energética de Colombia Para el Año 2020 Frente a todo el Mundo, Centro y Suramérica*



*Nota.* La figura compara la composición porcentual de la oferta energética primaria para el año 2020 a nivel mundial, en Centro y Suramérica, y en Colombia, destacando las diferencias en la participación de las principales fuentes energéticas dentro de cada región. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf)

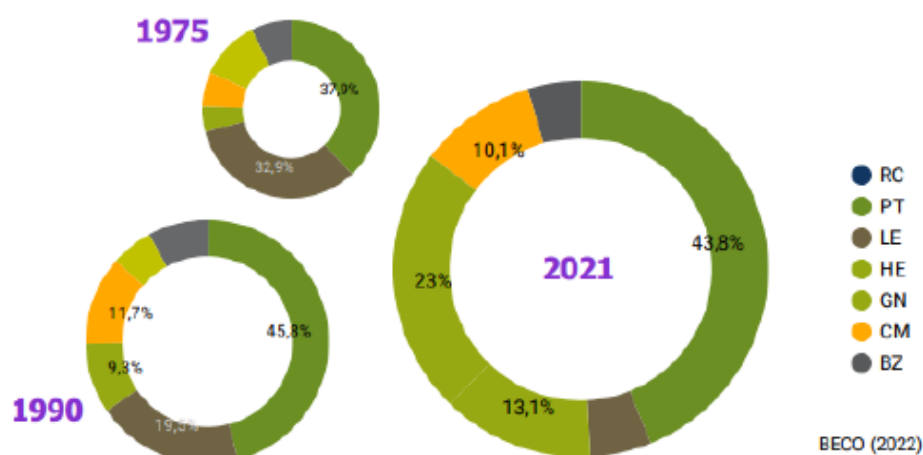
Con respecto a la oferta de energía primaria (Figura 2), se evidencia que con el paso de las décadas no se ha reflejado un cambio significativo en la alta dependencia de los combustibles fósiles en Colombia. Por ejemplo, en el caso del petróleo, la participación en la matriz energética total era del 37.9% en 1975 y aumentó significativamente al 45.8% en 1990.

El dato más revelador es que, desde la década de 1990 hasta el año 2021, su disminución ha sido casi nula, reduciéndose tan solo un 0.3% (UPME, 2024a). Esta reducción mínima es particularmente preocupante y significa que los esfuerzos de diversificación y las políticas de promoción de energías limpias han tenido un impacto marginal en la reducción de la dependencia del petróleo como fuente primaria.

El estancamiento en el uso de petróleo plantea un desafío crítico: a pesar del crecimiento poblacional, el desarrollo económico y la necesidad de conservación del medio ambiente, el país no ha logrado desvincular el aumento de la demanda energética de las fuentes fósiles. Esto subraya la urgencia de implementar políticas más agresivas y efectivas para la transición energética, en línea con los compromisos climáticos nacionales.

## Figura 2

*Transición de la Oferta Energética Primaria en Colombia entre los Años 1975, 1990 y 2021*



*Nota.* Esta figura presenta la transición de la oferta energética primaria en Colombia en los años 1975, 1990 y 2021, mostrando la participación porcentual de las principales fuentes energéticas y los cambios en la composición de la matriz energética nacional a lo largo del tiempo. *Fuente.*

Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

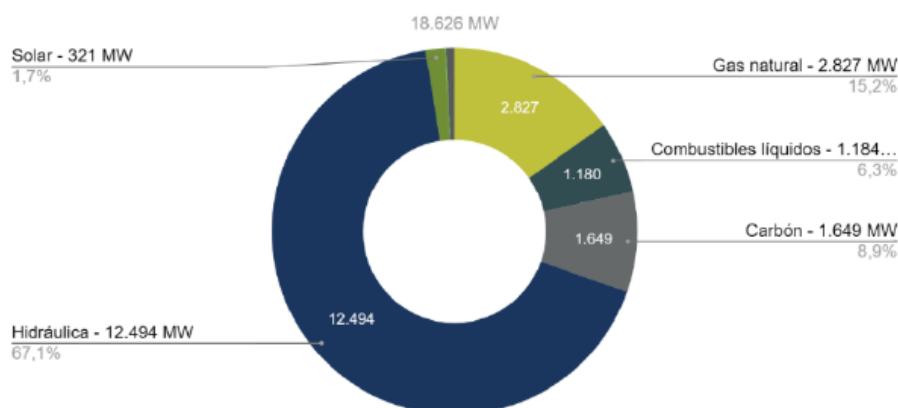
[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

En cuanto a la producción de energía eléctrica en Colombia para el año 2022 alcanzó los 18.626 MW, esto sin incluir la capacidad de los proyectos de cogeneración y autogeneración, el

70% de esta capacidad instalada hace parte de fuentes renovables, siendo la energía hidráulica la que tiene mayor participación en la matriz energética con una participación de 12.494 MW, seguido de la generación solar y eólica (UPME, 2024a), tal como es posible observar en la figura 3, donde se observa la distribución completa de la matriz energética colombiana más actualizada a la fecha según el PEN 2022 – 2052.

### Figura 3

*Matriz Energética Año 2022*



*Nota.* La figura muestra la matriz energética de Colombia para el año 2022, indicando la capacidad instalada en megavatios y la participación porcentual de las principales fuentes de generación, como la hidráulica, gas natural, combustibles líquidos, carbón y energía solar.

*Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

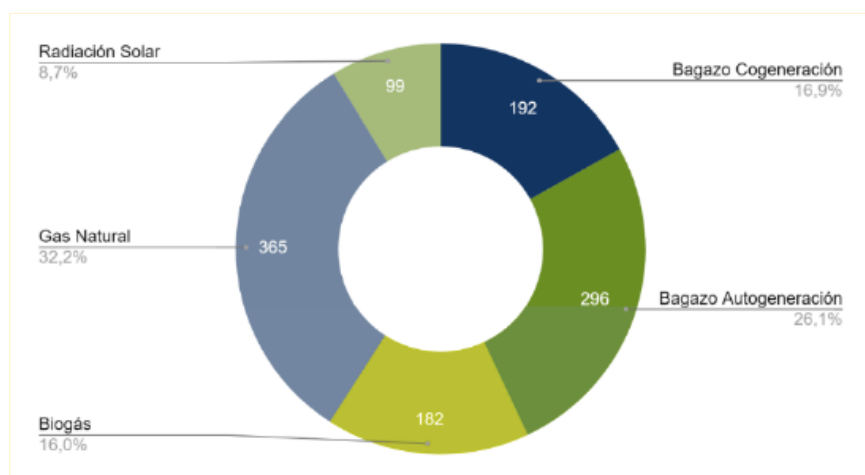
[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

Por otra parte, en la figura 4 se muestra lo correspondiente a los proyectos de cogeneración aportan a la matriz energética una capacidad de 192 MW, estos son proyectos donde la principal fuente son el bagazo azucarero para generar energía eléctrica.

En cuanto a los proyectos de autogeneración, hacen uso de distintas fuentes de energía tales como la radiación solar, biogás, bagazo y el gas natural, donde para el año 2023 había aproximadamente 3000 proyectos activos en el país, aportando 942 MW a la matriz nacional.

#### Figura 4

*Capacidad Instalada en Proyectos de Cogeneración y Autogeneración en Colombia*



*Nota.* La figura presenta la capacidad instalada de proyectos de cogeneración y autogeneración en Colombia, según la participación de las principales fuentes energéticas. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

En cuanto a los proyectos vigentes de energías renovables, según el Informe de registro de proyectos de generación de electricidad con corte a noviembre 30 del año 2024 en la tabla 1 y en las figuras 5 se puede observar el número y porcentaje de distribución de proyectos vigentes

entre los años 2021 a 2024, donde se percibe un crecimiento exponencial y muy notable en la implementación de energía solar, representando un 78,4% del total de proyectos, lo que confirma que ha venido siendo la más implementada en los últimos años. También se destaca un considerable crecimiento en la implementación de proyectos de energía renovable no convencional, con el pasar de los años, lo que destaca un gran apoyo y compromiso en la transición energética del país.

**Tabla 1**

*Número de Proyectos Vigentes*

Año	Biomasa	Eólico	Hidráulico	Solar	Total
2022		1	3	4	8
2023	3	6	12	88	110
2024		8	23	111	142
Total	3	15	38	203	260

*Nota.* Esta tabla presenta la cantidad de proyectos que a la última fecha de actualización se encuentran vigentes en Colombia por cada una de las fuentes energéticas. *Fuente.* Tomado de.

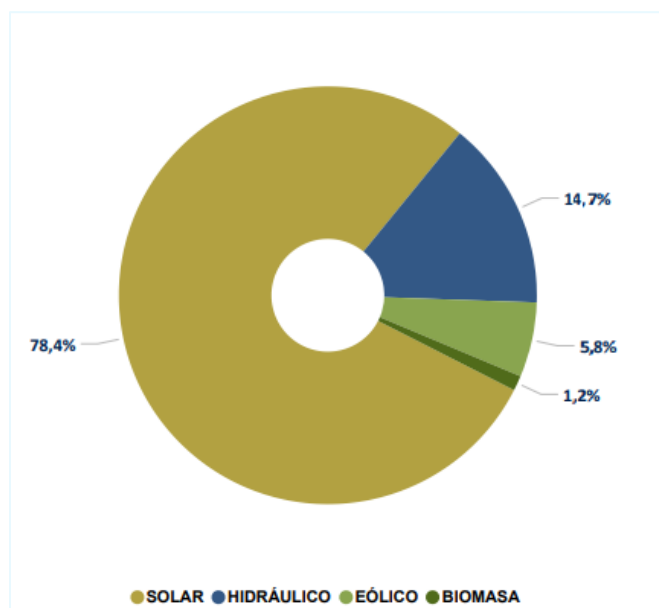
*Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf)

f.

## Figura 5

### Porcentaje de Proyectos Vigentes



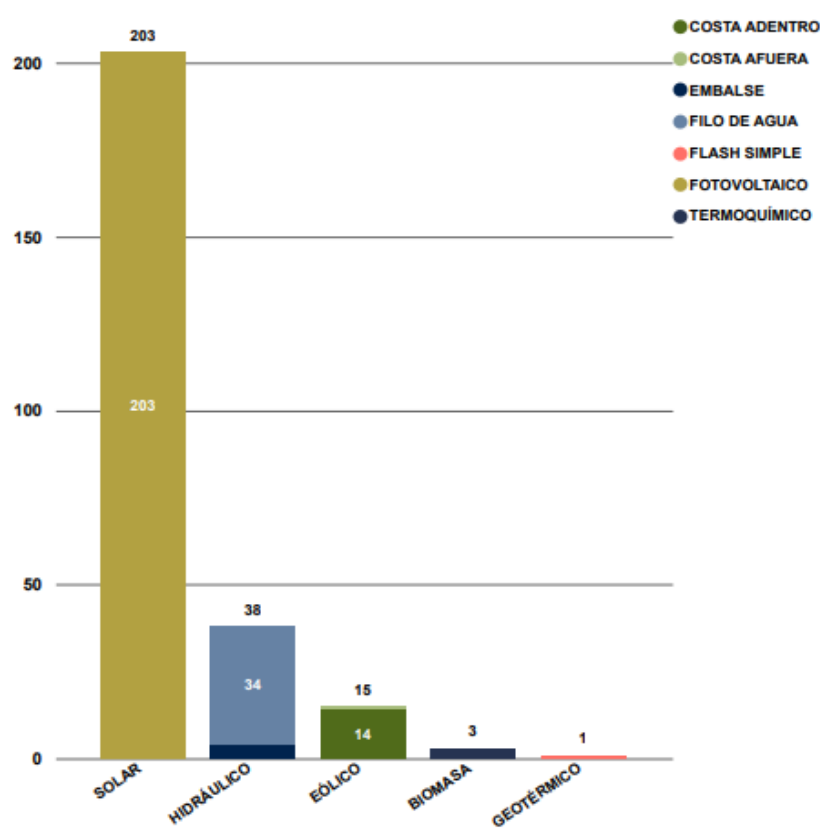
*Nota.* La figura presenta la capacidad instalada de proyectos de cogeneración y autogeneración en Colombia, según la participación de las principales fuentes energéticas. *Fuente.* Tomado de. *Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf).

Es evidente que Colombia ha priorizado el desarrollo de energías renovables con menores barreras de entrada y una implementación más rápida, siendo el ejemplo principal la energía solar fotovoltaica. Esta prioridad se demuestra de manera lógica al observar la Figura 6 (Número de Proyectos Vigentes), donde los proyectos solares superan ampliamente a cualquier otra fuente no convencional. Este predominio se debe a factores como la reducción global de costos de los paneles y la facilidad relativa de su instalación.

Sin embargo, fuentes como la biomasa y la geotérmica tienen una participación marginal en el gráfico, lo cual demuestra que aún existe una enorme oportunidad de diversificación y expansión en la matriz energética. Mientras la energía solar ya tiene un camino recorrido, el bajo número de proyectos en biomasa y geotérmica indica que hay recursos subexplotados que pueden añadir firmeza y estabilidad al sistema, ya que, a diferencia de la solar y eólica, pueden ofrecer generación de energía más constante e independiente de las condiciones climáticas.

## Figura 6

*Número de Proyectos Vigentes*



*Nota.* La figura muestra el número de proyectos energéticos vigentes en Colombia, clasificados según la tecnología de generación. *Fuente.* Tomado de. *Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf)

f.

La Tabla 2 detalla la distribución de proyectos de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) por departamento, lo cual revela patrones geográficos en la adopción tecnológica. Los departamentos de Tolima (28 proyectos) y César (24 proyectos) lideran la cantidad total, seguidos de cerca por Córdoba (23 proyectos) y Antioquia (22 proyectos). El liderazgo de Tolima y César se debe casi exclusivamente a la energía solar (25 y 23 proyectos, respectivamente), lo que sugiere que estas regiones han priorizado la tecnología fotovoltaica por su viabilidad, irradiación solar o disponibilidad de tierras.

Un punto notable de análisis es que, a pesar de que los departamentos de la Costa Caribe como La Guajira (famosa por su potencial eólico) y Atlántico son costeros, no presentan un alto número de proyectos eólicos vigentes en esta etapa (La Guajira tiene 4 proyectos eólicos y Atlántico solo 1). Esto indica que, si bien el recurso existe, la fase de desarrollo y registro de proyectos viables no se ha materializado ampliamente en la tecnología eólica a diferencia de la solar. En contraste, departamentos como Vaupés y Putumayo cuentan con una mínima representación, lo que subraya un desequilibrio regional en la implementación de ERNC que debe ser abordado por las políticas públicas para asegurar una transición energética equitativa en todo el país (UPME, 2024c).

## **Tabla 2**

*Número de Proyectos Vigentes por Departamento con Corte 30 Noviembre del Año 2024*

Departamento	Biomasa	Eólico	Hidráulico	Solar	Total
Antioquia	1		12	9	22

Arauca			3	3
Atlántico	1	1	4	6
Bolívar		1	21	22
Boyacá			1	7
Caldas			8	4
Casanare				2
Cauca			4	
Cesar		1		23
Córdoba		1		22
Cundinamarca			1	6
Huila				15
La Guajira		7		4
Magdalena		4		3
Meta				9
Nariño				1
Norte Santander			1	
Putumayo				1
Risaralda				4
Santander			6	12
Sucre				13
Tolima			3	25
Valle	1		2	14
Vaupés				1

Total	3	15	38	203	250
-------	---	----	----	-----	-----

*Nota.* Esta tabla presenta la cantidad de proyectos que por departamento se encuentran vigentes en el país, resaltando la activa participación del departamento del Cesar. *Fuente.* Tomado de. *Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf).

De acuerdo a la capacidad distribuida en proyectos renovables se puede notar una tendencia hacia proyectos de menor escala (rango de 1-10 MW), siendo aquí donde están concentrados la mayoría de proyectos 120/260 lo que equivale a un 46% del total de proyectos, por ende, esto hace referencia a que la mayoría de iniciativas en Colombia han sido de pequeña escala, probablemente por facilidades en el ámbito económico, de regulación y del desarrollo e implementación más corto.

En la tabla 3 también podemos notar que existe implementación de proyectos solares tanto pequeños como a gran escala de rango de potencia, lo cual, es muy prometedor, abarcando más de un 78% del total de proyectos, sin embargo, el 84% de proyectos están dentro del rango de 1-10 MW, lo que significa que su crecimiento se basa más que todo en proyectos de mediana escala, como lo son parques solares distribuidos.

En cuanto a los proyectos a gran escala que son los mayores a 100 MW, la energía solar sigue siendo la líder con 26 proyectos, junto a la presencia de proyectos eólicos donde se destaca por su notable presencia en rangos de 50-100 MW y >100 MW siendo proyectos a gran escala (UPME, 2024c), muy seguramente por el desarrollo de proyectos de parques eólicos en áreas costeras que disponen de altas tempestades de viento, este crecimiento a gran escala tiene un

gran potencial de expandirse, siempre y cuando se superen las barreras regulatorias y de inversión.

Por lo tanto, la predominancia de proyectos pequeños y medianos indica el avance que han venido teniendo las energías renovables a través de medidas descentralizadas, lo que permite tener un sistema eléctrico estable y poco a poco ir disminuyendo la dependencia a los combustibles fósiles.

### Tabla 3

*Número de Proyectos Vigentes por Rango de Potencia*

Rango	Biomasa	Eólico	Hidráulico	Solar	Total
0-1 MW			1	5	6
1-10 MW	3	2	13	101	120
10-20 MW			14	29	43
20-50 MW			2	10	12
50-100 MW		5	5	32	42
> 100 MW		8	3	26	37
Total	3	15	38	203	260

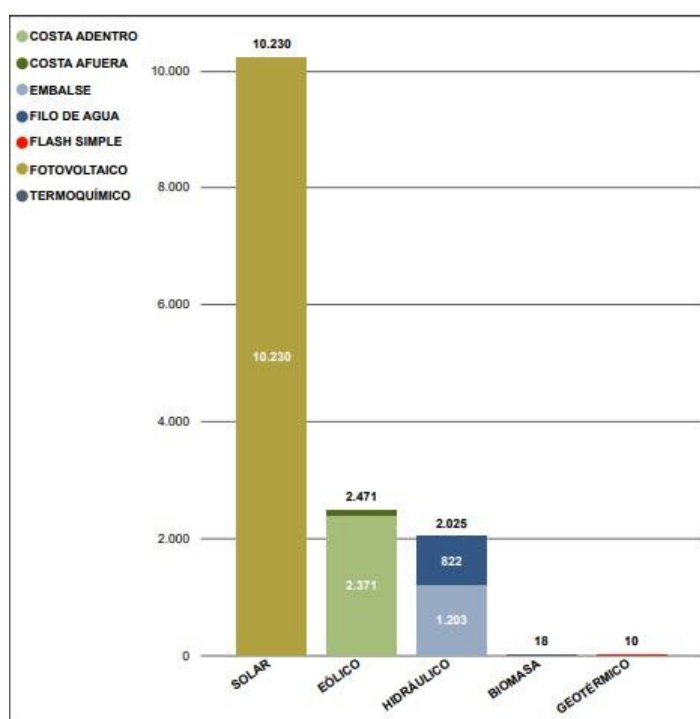
*Nota.* Esta tabla muestra la clasificación de proyectos vigentes por fuente energética de acuerdo al rango de potencia de generación. *Fuente.* Tomado de. *Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf).

Por otra parte, cabe resaltar que la energía solar, además de ser la tecnología con más proyectos en desarrollo, también es la que tiene mayor potencia de capacidad instalada, tal como lo da a conocer la UPME en la figura 7, asimismo, tienen una escala significativa en la generación energética, donde actualmente cuenta con 10.230 MW. La energía eólica se encuentra en la segunda fuente energética con una mayor capacidad de 2.471 MW.

**Figura 7**

*Potencia Total de Proyectos Vigentes MW*



*Nota.* La figura presenta el potencial de proyectos energéticos vigentes en Colombia, clasificados según la tecnología de generación. *Fuente.* Tomado de. *Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf)

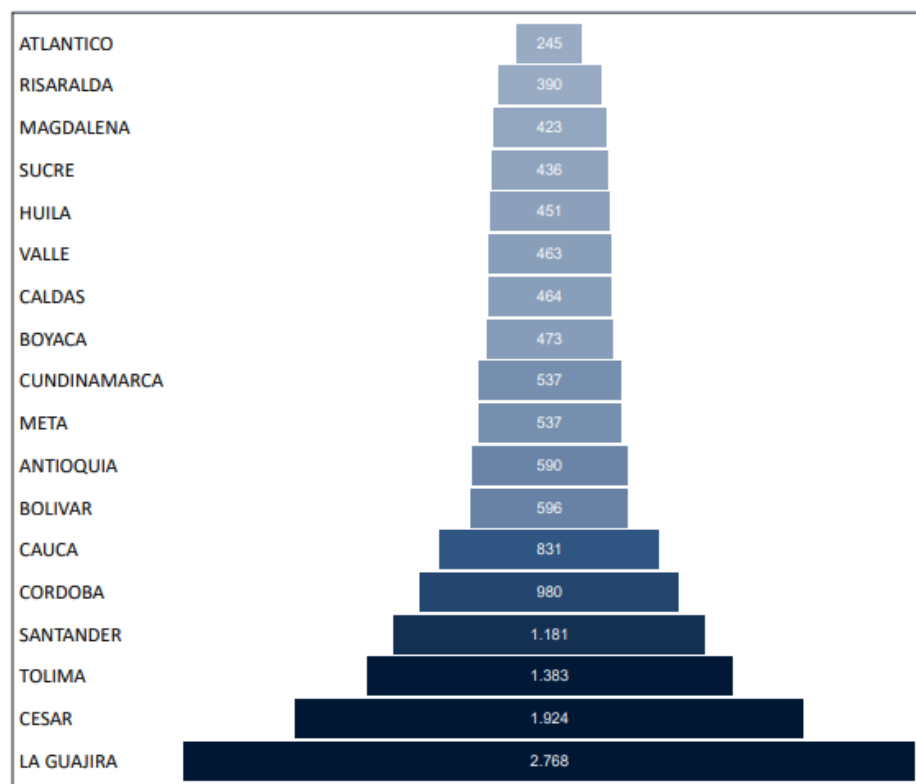
f

Por otra parte, la figura 8 muestra la capacidad de proyectos de energía renovable en megavatios (MW) que se encuentran vigentes por departamento en Colombia. Donde la Guajira lidera con una capacidad total de 2.768 MW, le siguen los departamentos del Cesar (1.924 MW), Tolima (1.383 MW) y Santander con 1.181 MW respectivamente.

Así mismo, departamentos como el Atlántico, Magdalena y Risaralda aparecen con menos de 450 MW en su capacidad de proyectos, por lo cual, pese a que tienen proyectos vigentes, no cuentan con el mismo potencial que la zona norte del país. Esto deja claro que la región del Caribe, en particular la Guajira, se destaca por su gran potencial en la generación de energía renovable no convencional como solar y eólica.

## Figura 8

*Capacidad de Proyectos Vigentes por Departamento (MW)*



*Nota.* La figura muestra el número de proyectos energéticos vigentes en Colombia hasta el año 2024, clasificados por departamento. *Fuente.* Tomado de. *Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf).

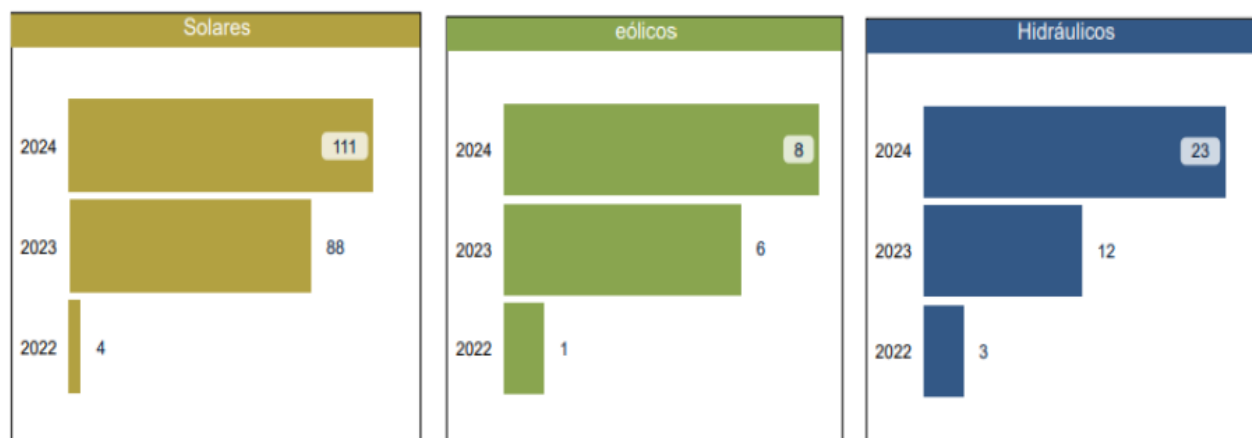
En la figura 9 es posible observar la evolución que ha tenido el país en cuanto a los proyectos ya registrados y que se encuentran en fase de avance entre los años 2022 y 2024, diferenciados por tipo de tecnología (solar, eólica e hidráulica), donde la energía solar es la que ha presentado el crecimiento más significativo frente a las otras dos, ya que en el año 2022 contaba con tan sólo 4 proyectos, pasando a 88 en el año 2023 y hacia el año 2024 alcanzó los 111 proyectos, lo que la posiciona como la fuente energética no convencional con mayor impulso de expansión.

Con respecto a los proyectos eólicos, tuvieron un avance gradual, donde en el año 2022 había tan solo 1 proyecto registrado, a 6 proyectos en el año 2023 y finalizó en 2024 con 8 proyectos. Finalmente, los proyectos de energía hidráulica también crecen de manera ascendente, pasando de 3 en 2022 a 12 en 2023 y 14 proyectos en 2024, si bien su crecimiento es favorable, resulta limitado frente al crecimiento exponencial de la energía solar.

Por ende, estos datos demuestran la expansión creciente de energías renovables en el país, logrando evidenciar desde ya la diversificación de la matriz energética, resaltando la creciente expansión de las FNCER dentro del sistema energético colombiano.

**Figura 9**

*Evolución del Número de Proyectos Vigentes de Energías Renovables en Colombia 2022-2024*



*Nota.* La figura muestra el crecimiento de proyectos solares, eólicos e hidráulicos en los últimos tres años. *Fuente.* Adaptado de. *Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.*

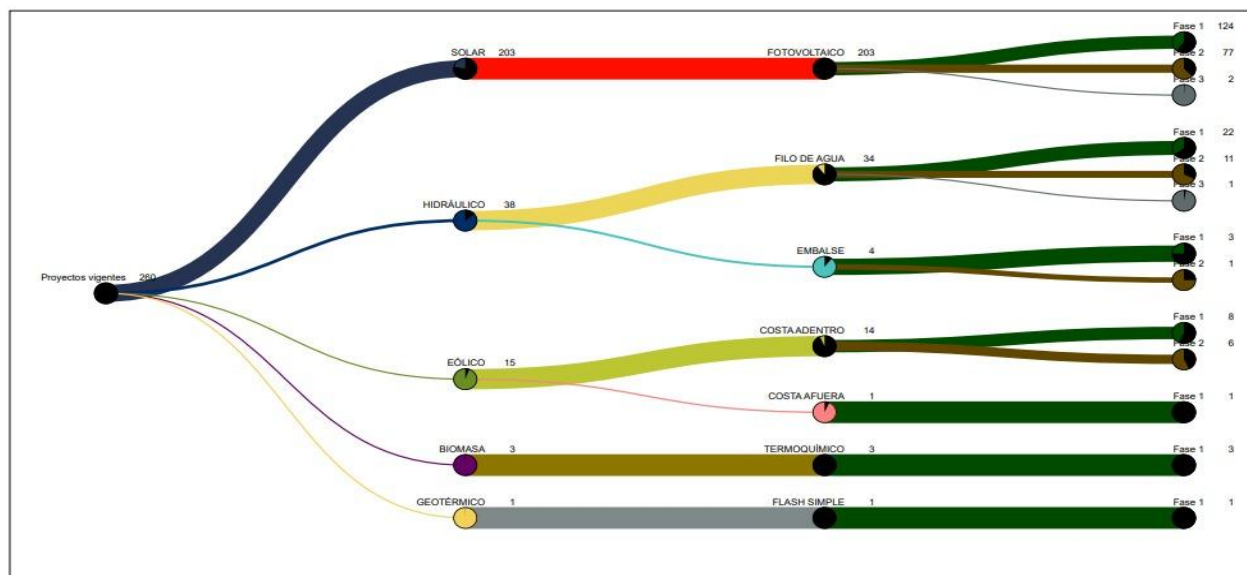
(2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf).

Estos proyectos vigentes de ERNC en Colombia, aún tienen su reto que es entrar en operación (SER Colombia, 2023b), ya que tal como se muestra en la figura 10, estos proyectos se dividen en 3 fases distintas y esto permite evaluar la madurez de cada proyecto, por ejemplo la energía solar es la que lidera, pero de los 203 proyectos fotovoltaicos 124 están todavía en fase 1, lo que quiere decir que aún se encuentran en etapas de planificación inicial, 77 proyectos ya avanzaron a fase 2 y tan sólo 2 están en fase 3, por lo tanto, menos de un 40% de proyectos han superado las barreras de viabilidad técnica, financiamiento y de regulación; la energía eólica tiene tan sólo 15 proyectos de los cuales la gran mayoría son de costa adentro y se encuentran todavía en fases iniciales, en cuanto a la energía de biomasa si se encuentra estancada completamente.

**Figura 10**

*Fase en que se Encuentra Cada Uno de los Proyectos Vigentes*



*Nota.* La figura muestra en qué fase de desarrollo se encuentra cada uno de los proyectos solares, eólicos, biomasa e hidroeléctricos vigentes en Colombia. *Fuente.* Adaptado de. *Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf).

En cuanto a la capacidad instalada de proyectos solares vigentes en Colombia en los distintos departamentos, lideran la participación los departamentos del Cesar con 1.844 MW y La Guajira con 1.107 MW puesto que estos departamentos tienen óptimas condiciones que favorecen la generación de energía fotovoltaica (VANEGAS et al., 2017), puesto que se destacan por su alta radiación solar, junto a extensas zonas que permiten la implementación de proyectos a gran escala (Vanegas Chamorro et al., 2015). Otros departamentos que también cuentan con una alta capacidad es Tolima con 1.072 MW, Santander con 1.065 MW y Córdoba con 883 MW, por lo tanto, esto indica que la energía solar también está siendo implementada con gran potencial en

zonas que normalmente no son tan soleadas del país, sino lo importante es tener un desarrollo de infraestructura eléctrica (Espitia, 2023).

En la figura 11 se evidencia el avance progresivo de la capacidad instalada neta de generación de las FNCER dentro del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en Colombia, durante los últimos tres años de acuerdo al boletín estadístico 2020-2024 publicado por la UPME (2025a), en el año 2022 apenas se alcanzaba una capacidad instalada de 519,9 MW donde 211,4 MW hacía parte de la generación por biomasa (bagazo y biogás), 290,1 MW a la generación por energía solar y 18,4 MW de energía eólica; para el año 2023 la capacidad total subió a 736,5 MW, donde la biomasa se mantuvo con una capacidad de 211,4 MW, igualmente que la generación eólica con 18,4 MW, siendo la energía solar la única fuente que aumentó su capacidad a 506,7 MW durante este año.

Ya para el año 2024 la capacidad neta instalada aumentó a 1.530,4 MW, donde la energía de biomasa y eólica continuaron sin aumentar su capacidad, caso opuesto de la energía solar que continúa su rumbo ascendente con un logro de 1.300,6 MW, consolidándose de esta manera como la fuente no convencional con mayor expansión en Colombia hasta la fecha, este efecto también evidencia el resultado de la puesta en marcha de varios parques solares a gran escala, logrando sobresalir del promedio histórico del 1% (Sandoval, 2024a).

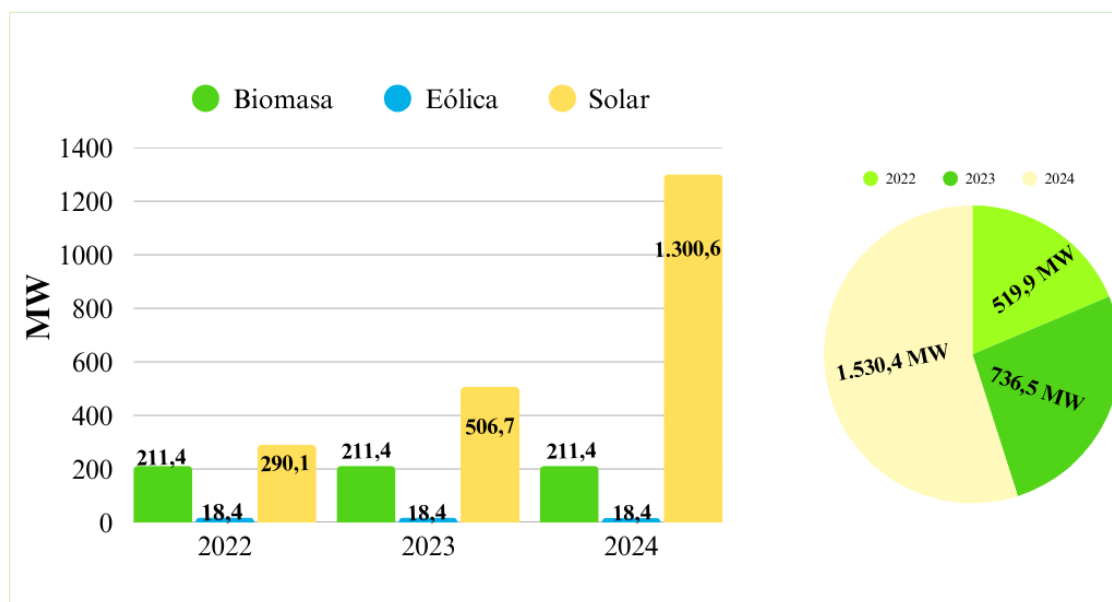
Por otro lado, el no aumento de la capacidad instalada de biomasa no es sólo de estos últimos tres años sino prácticamente histórico, siendo el resultado de la dependencia sobre todo del sector azucarero y es que este sector a su vez ya se encuentra en una fase de desarrollo estabilizado, por lo que en los últimos años no ha implementado proyectos significativos que hagan uso de la cogeneración o la biomasa (Agronegocios, 2015).

Con respecto a la energía eólica, el estancamiento en la capacidad instalada (18,4 MW), es el resultado de los diversos retos e inconvenientes con el desarrollo de parques especialmente en la Guajira, teniendo en cuenta que este departamento es clave para el desarrollo de la energía eólica en el país, se ha visto afectado por conflictos sociales por parte de las comunidades Wayuu (los cuales giran en torno a la vulneración de derechos territoriales y culturales y la falta de garantías en los procesos de negociación), al igual que los retrasos en la construcción de líneas de transmisión han pospuesto la entrada en operación de proyectos adjudicados (El Colombiano, 2024; SEI, 2023).

Además, el 65% de los proyectos que están programados para que entren en operación aún se encuentran en fase de implementación, con retrasos ya sea por inconvenientes en alguno de los procesos administrativos o inconvenientes de tipo socioambiental (Prieto & Bravo, 2024)

**Figura 11**

*Capacidad Instalada Neta de las FNCER en los Últimos Tres Años (MW)*



*Nota.* La figura muestra los megavatios instalados por las Fuentes no Convencionales de Energía Renovable en los últimos tres años en Colombia. *Fuente.* Adaptado de. *Boletín Estadístico de*

*Minas y Energía 2020 – 2024*. (2025), UPME, [https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Boletin-estadistico/Boletin\\_Estadistico\\_2020-2024\\_S1VF\\_Abril\\_VFD-07abr25.pdf](https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Boletin-estadistico/Boletin_Estadistico_2020-2024_S1VF_Abril_VFD-07abr25.pdf)

Para el año 2025 en la figura 12 es posible observar la espera de 19 nuevos proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) se incorporen al Sistema Eléctrico Nacional, sumando una capacidad de 2.550 MW (SER Colombia, 2025). Estos proyectos se distribuirán en menos de 16 departamentos, con Cundinamarca liderando la nueva capacidad instalada. Específicamente, Cundinamarca aportará el 46% de esa capacidad, equivalente a 310 MW, con dos proyectos clave en construcción en Guaduas y Paratebueno.

La adición de estos 2.550 MW es una cifra positiva y significativa, ya que equivale al consumo total de una ciudad como Bogotá, que cuenta con aproximadamente 6.8 millones de usuarios. Esta capacidad representa un aumento del 12% en la capacidad total de generación eléctrica de Colombia (SER Colombia, 2025).

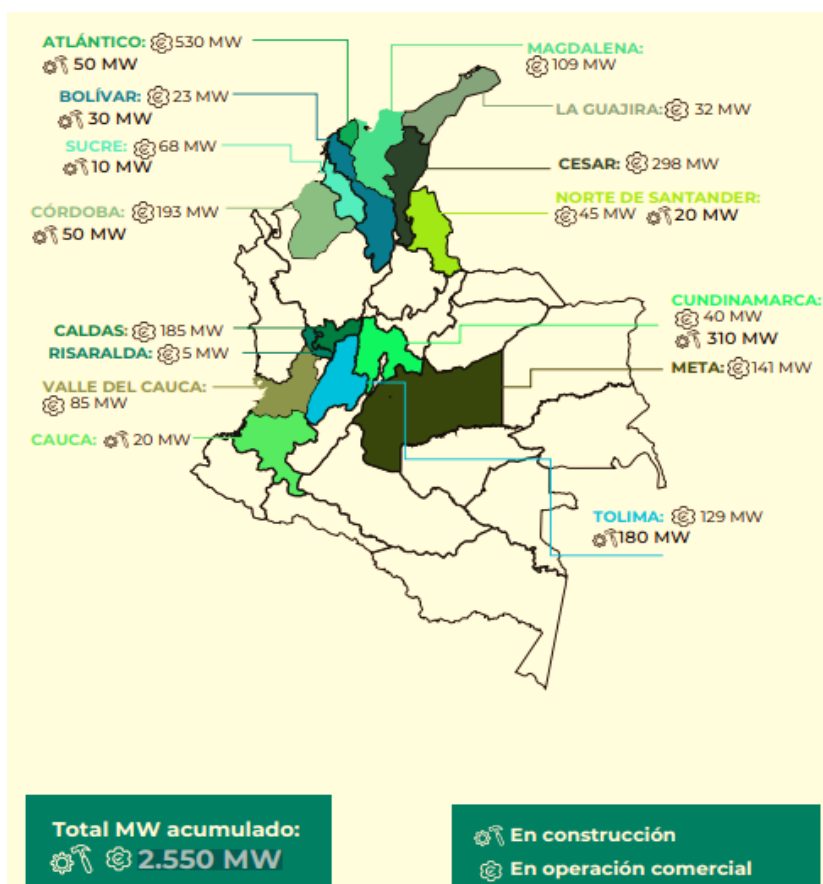
La aprobación de estos 19 proyectos por parte de la UPME en 2024 marcó un hito en los 30 años de historia del sector, ya que fue el año con la mayor cantidad de obras aprobadas. Este logro fue posible gracias a la cooperación y alianza estratégica con XM S.A. E.S.P., que facilitaron espacios de coordinación para revisar y afrontar los retos del sistema de transmisión eléctrica. Esta colaboración permitió identificar soluciones estructurales e innovadoras que responden a las necesidades presentes y futuras del sector (UPME, 2024d).

Estos 19 proyectos implican una inversión de \$500 millones de dólares. Dos de estos proyectos ya iniciaron operación en enero del año en curso. Se estima que generarán 6.000 nuevos empleos y que, durante su vida útil, aportarán \$3.7 billones de pesos al mercado eléctrico. En términos ambientales, la incorporación de esta capacidad resultará en una reducción de 1.1 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que se sumarán a los 3.2 millones de

toneladas que ya se evitan anualmente gracias a los 70 parques FNCER actualmente en operación, con una capacidad instalada de 1.881 MW (SER Colombia, 2025).

## Figura 12

*MW en Operación y Construcción Proyectado a 2025*



*Nota.* La figura muestra el mapa colombiano donde en el año 2025 algunos departamentos tienen proyectado salir en operación. *Fuente.* Tomado de. *Fuentes no Convencionales de Energías Renovables (FNCER) en 2025.* (2025). SER Colombia. <https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2025/02/informefeb2025.pdf>

## **Planificación Energética y Objetivos Estratégicos**

La planificación energética en Colombia constituye un proceso técnico y estratégico que es liderado y desarrollado por entidades como el Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). El objetivo principal de este proceso no es solo guiar, sino trazar una hoja de ruta que garantice la seguridad energética y oriente al sector hacia un desarrollo sostenible a mediano y largo plazo.

Esta planificación se materializa a través de una serie de documentos estratégicos clave que trabajan de manera coordinada. Entre los principales instrumentos que sirven de guía para la inversión y el desarrollo se encuentran:

El Plan Energético Nacional (PEN), que define la visión de largo plazo.

El Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión, que aborda las necesidades de infraestructura.

Las estrategias detalladas en el marco de la Transición Energética Justa, que incorporan criterios sociales y ambientales. El PEN 2022-2052 que es desarrollado por la UPME tiene estructurado una hoja de ruta donde proyecta un sistema energético diversificado, resiliente y sobre todo alineado con los acuerdos internacionales de la descarbonización atmosférica, es decir la disminución de la emisión de gases efecto invernadero. Igualmente, este plan considera la importancia de la transformación de la matriz energética nacional a través de la implementación de las FNCER, el cambio de infraestructura energética y la electrificación de los sectores más emisores de carbono. Sin embargo, su enfoque en si es favorecer la seguridad energética, la competitividad económica y la sostenibilidad ambiental (UPME, 2024a).

Así mismo, aunque el PEN 2022-2052 es el documento actualmente disponible y la base mediante la cual se evalúan las acciones del sector energético en la presente monografía, la

UPME se encuentra en proceso de construcción del PEN 2024-2054. Este nuevo plan reafirma y consolida los mismos lineamientos estratégicos del PEN 2022-2052, pero con la diferencia fundamental de que integra formalmente el programa de Transición Energética Justa. Dicho programa se fundamenta en cuatro pilares esenciales (plasmados en la Figura 13), donde en primera medida busca garantizar el suministro de manera resiliente y estable, prioriza la protección del ambiente mediante la disminución de las emisiones contaminantes, fomenta el crecimiento y desarrollo a través de tecnologías limpias, y asegura la inclusión de todos los actores en la transición energética (UPME, 2025b).

### Figura 13

#### *Pilares Estratégicos PEN 2024–2054*



*Nota.* La figura presenta los cuatro pilares con los que se fundamenta el PEN 2022 - 2052.

*Fuente.* Adaptado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024). UPME.

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf)

Con respecto al Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión, el cual también es desarrollado por la UPME donde plasma la visión de cómo debería ir expandiéndose la energía eléctrica en el país, incluyendo así mismo, las nuevas líneas de transmisión y los proyectos estratégicos de generación de energías renovables. Por otra parte, se centra en garantizar que la red de electricidad integre de manera eficiente nuevas tecnologías, sobre todo en regiones como el Cesar y la Guajira que cuentan con buen potencial eólico y solar. De hecho, en el Plan 2023-2037 incluye escenarios de descarbonización donde se proyecta una disminución progresiva de la producción de combustibles fósiles y se fomenta una mayor participación de FNCER en la matriz energética (UPME, 2023).

Así mismo, con respecto a las estrategias del enfoque de Transición Energética Justa, el Ministerio de Minas y Energía desarrolla un papel importante en la transición energética dentro de la política pública, dado que desde el año 2020 el gobierno nacional inició la promoción del hidrógeno verde y azul junto al plan Nacional de Electromovilidad y los programas energéticos en regiones no interconectadas con el fin de aumentar la inclusión social y la cobertura de acceso a energías limpias, buscando disminuir a la par el uso de hidrocarburos. Además, se ha dado prioridad al uso de subastas competitivas con el fin de ofrecer contratos de proyectos de generación de fuentes renovables y es justo esto lo que ha venido acelerando la implementación de este tipo de tecnologías limpias al sistema energético nacional (MINENERGÍA,2023).

Por otra parte, cabe resaltar que el Plan Energético Nacional (PEN) se fundamenta en la integración de tres elementos clave: descarbonización, descentralización y digitalización.

### **Descarbonización**

Se centra en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, fomentando el uso de fuentes de energía renovable y la adopción de tecnologías limpias.

## **Descentralización**

Tiene el propósito de diversificar la generación de energía, con el fin de facilitar la participación por parte de las comunidades locales en el desarrollo y gestión de proyectos energéticos.

## **Digitalización**

Implica la incorporación de tecnologías digitales para gestionar de manera eficiente la infraestructura energética, así como para optimizar la oferta y la demanda de energía (UPME, 2021a).

Estos tres elementos tienen el gran propósito de lograr la sostenibilidad a través del equilibrio en conjunto de la humanidad con los recursos, para preservar el medio ambiente sin abandonar el crecimiento económico y social, buscando la estabilidad de presupuesto y rentabilidad a largo plazo (UPME, 2024a).

En conclusión, las estrategias y planes del gobierno nacional buscan consolidar y avanzar hacia una matriz energética, sostenible, descentralizada y sobre todo diversificada, enfocándose de manera clara en los siguientes objetivos:

Promover el uso de fuentes renovables no convencionales como la eólica, solar, biomasa y geotérmica (UPME, 2020b).

Reducir las emisiones provenientes de las fuentes energéticas para ir descarbonizando y así poder cumplir con los compromisos en el acuerdo de París (UPME, 2023).

Ofrecer cobertura energética limpia en cada rincón del país, sin dejar atrás las zonas rurales y apartadas (UPME, 2025b).

Competir con un costo de energía justo y eficiente tanto en hogares como en empresas e industrias (UPME, 2020b).

Llevar a cabo una transición energética sin excluir a ningún territorio ni grupo social, eliminando así las brechas al acceso de energía (UPME, 2025b).

### **Planeación Energética Nacional hacia 2052: Metas Estratégicas a Mediano y Largo Plazo**

Colombia tiene proyectada su planificación energética hasta el año 2052 a través de diversos escenarios clave. Esta hoja de ruta tiene como visión estratégica el "alcanzar un sistema energético que sea competitivo, confiable, inclusivo, y carbono neutral", un objetivo que subraya la intención de edificar un sistema más resiliente y limpio.

Esta visión se sustenta en el Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052 de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Entre las principales metas y pilares de este plan se destaca:

El incremento de la participación de FNCER en la matriz energética, diversificando la oferta y reduciendo las emisiones.

Garantizar la seguridad energética en todo el país mediante una matriz diversificada.

Promover la eficiencia energética en el sector residencial, de transporte e industrial.

Fomentar la descentralización y digitalización del sistema de electricidad, a través de sistemas de almacenamiento, redes inteligentes y generación distribuida.

Reducir las emisiones generadas del sector energético, con el objetivo de lograr un sistema de bajas emisiones y carbono neutralidad.

Cabe mencionar que estas metas trabajarán en conjunto con el programa de Transición Energética Justa, que busca una transformación energética limpia y sostenible además de ser

socialmente justa, es decir, siendo equitativa e inclusiva, donde algunos aspectos sociales a mejorar son:

En el caso de las comunidades y trabajadores que dependen de industrias tradicionales para emplearse y al final terminan perjudicados por la falta del mismo; reducir la desigualdad al acceso de energía; que los beneficios producto de la transición energética tanto sociales como económicos (desarrollo local, acceso al servicio y empleo) sea repartido de forma justa, sobre todo con poblaciones vulnerables; además que las políticas energéticas tengan en cuenta también el contexto económico y social de cada una de las regiones de Colombia y no sólo el contexto técnico y ambiental (MINENERGIA, 2023a).

### **Objetivos PEN 2022- 2052**

El PEN tiene ocho objetivos por alcanzar como meta al año 2050 y estos a su vez están regidos por cuatro pilares o áreas estratégicas que orientan todos los esfuerzos de política pública, así como se observa en la figura 14, donde cada uno de los objetivos busca de manera específica llevar la política gubernamental de energía hacia un desarrollo competitivo, pero a la vez resiliente y competitivo, siendo esta la base con la cual se realiza el análisis del PEN a largo plazo (UPME, 2024a).

Es evidente que la política energética de Colombia no se basa únicamente en el suministro energético, sino que también integra y se preocupa por otros temas de carácter ambiental, social, económico y tecnológico.

También existe una alineación de los pilares con la transición energética, junto al énfasis en el desarrollo tecnológico y la capacitación del talento humano buscando la modernización del sector, así mismo, con estos objetivos pretende diversificar nuevas fuentes de generación

eléctrica para que de manera equitativa la comunidad del sector tenga acceso a energía eléctrica de calidad, a pesar de que el sistema se inclina por mercados más eficientes a largo plazo.

## Figura 14

### *Pilares y Objetivos del Plan Energético Nacional 2032- 2052*

<p><b>Pilar 1. Seguridad y confiabilidad del abastecimiento</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Objetivo 1: Permitir el acceso universal a soluciones energéticas confiables, con estándares de calidad y accesibles.</li> <li>•Objetivo 2: Diversificar la matriz energética.</li> </ul>
<p><b>Pilar 2. Adaptación y mitigación del cambio climático</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Objetivo 3: Contar con un sistema energético resiliente.</li> <li>•Objetivo 4: Propender por un sistema energético de bajas emisiones de gases efecto invernadero.</li> </ul>
<p><b>Pilar 3. Competitividad y desarrollo económico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Objetivo 5: Adoptar nuevas tecnologías para el uso eficiente de recursos energéticos.</li> <li>•Objetivo 6: Promover un entorno de mercado competitivo y la transición hacia una economía circular.</li> </ul>
<p><b>Pilar 4. Conocimiento e innovación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Objetivo 7: Avanzar en la digitalización y uso de datos en el sector energético.</li> <li>•Objetivo 8: Estimular la investigación e innovación y fortalecer las capacidades de capital humano.</li> </ul>

*Nota.* La figura presenta los objetivos que corresponden a cada uno de los cuatro pilares con los que se fundamenta el PEN 2022 - 2052. *Fuente.* Adaptado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

En la tabla 4 se presenta los cuatro pilares estratégicos que definieron en el PEN 2022–2052, donde cada uno da a conocer tanto su resultado estratégico como su alcance, estos pilares son la hoja de ruta para reformar el sistema energético en Colombia tanto a mediano plazo como a largo plazo, donde a su vez se integran temas de carácter ambiental, técnico, económico y social (UPME, 2024a).

Estos cuatro pilares evidencian que se está avanzando hacia una Colombia integral, que además de cubrir la demanda energética, reduce el impacto ambiental y activa el desarrollo económico con el fin de preparar al país para un futuro inteligente.

**Tabla 4**

*Pilares Plan Energético Nacional 2022-2052*

Pilar	Resultado estratégico	Alcance
Pilar 1. Seguridad y confiabilidad en el suministro energético.	Garantizar cubrir la demanda nacional mediante un suministro energético seguro y confiable.	Diseñar un sistema energético con la capacidad suficiente para transportar, abastecer y distribuir el recurso energético de forma segura, pero sobre todo eficiente y constante de tal manera que cubra todas las necesidades energéticas del país.
Pilar 2. Adaptación y mitigación frente al cambio climático.	Reducir la contaminación por emisión de gases efecto invernadero, para disminuir el riesgo del cambio climático.	Impulsar la transformación del sistema energético con el fin de favorecer la disminución de gases efecto invernadero y de esta manera mejorar la capacidad de respuesta con respecto a los efectos climáticos.
Pilar 3. Competitividad y desarrollo económico	Implementar óptimas tecnologías con el fin de aprovechar de	Impulsar un mercado dinámico e innovador de tecnologías con el fin de promover el uso racional y eficiente de los recursos energéticos, con esto se busca aumentar y

	manera eficiente los recursos energéticos.	fortalecer la competitividad de todo el país, junto al desarrollo económico.
Pilar 4. Conocimiento e innovación.	Orientar la gestión del conocimiento hacia la transición energética y desarrollo sostenible del país.	Reforzar toda la parte de talento humano que esté orientado hacia proyectos de solución, desarrollo e innovación que aporten en la transformación del sistema energético colombiano.

*Nota.* Esta tabla muestra los pilares con los que se rige el PEN con su alcance y resultado estratégico. *Fuente.* Adaptado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

En la tabla 5 es posible analizar los indicadores de seguimiento de los objetivos del PEN, contrastando las líneas base correspondientes a los años 2019 y 2021 frente a la visión que se tiene hacia los años 2050 y 2052. Estos indicadores se convierten en herramienta clave para identificar desafíos que persisten, logros y áreas que necesitan ser priorizadas tales como la diversificación de la matriz energética con el uso de tecnologías limpias, el acceso a la energía, la resiliencia del sistema, la eficiencia energética, la mitigación de emisiones atmosféricas, la innovación, economía circular y digitalización (UPME, 2024a).

Por lo tanto, las metas proyectadas para los años 2050 y 2052 son un verdadero reto ser alcanzadas, razón por la cual es necesario agilizar las acciones en varios aspectos como en el fortalecimiento institucional, inversión, fortalecimiento institucional, fortalecimiento

institucional y en capacitación técnica, todo esto con el fin de acelerar la transición energética en el país.

**Tabla 5**

*Indicadores de Seguimiento de Objetivos del PEN 2022-2052*

Objetivo	Indicador de seguimiento	Línea base 2019	Visión 2050	Línea base 2021	Visión 2052
Permitir el acceso a soluciones energéticas confiables, con estándares de calidad y asequibles.	Índice de Equidad Energética del World Energy Council	Calificación: C Ranking: 73	Calificación: A	Calificación: C Ranking: 73	Calificación: C Ranking: 73
Diversificar la matriz energética.	Participación FNCE en la producción primaria de energía.	3,1%	12 %- 20 %	1,4%	7 %- 30 %
Contar con un sistema energético resiliente.	Índices de calidad de prestación del servicio de energía eléctrica.	SAIDI: 37,7 h/año SAIFI: 48 veces al año.	SAIDI: 3-5 h/año SAIFI: 2-5 veces al año	SAIDI: 29,6 h/año SAIFI: 38,2 veces al año.	SAIDI: 2-4 h/año SAIFI: 2-4 veces al año
Propender por un sistema energético de bajas emisiones de GEI.	Emisiones de CO2 asociadas al consumo de energía	61.955 Gg CO2eq-año	70.000 - 90.000 GgCO2eq-año	63.143 Gg CO2eq-año	29.793 - 100.600 Gg CO2eq-año

Adoptar nuevas tecnologías para el uso eficiente de recursos energéticos.	Porcentaje de energía útil sobre el consumo total de energía final.	31%	50 %-70 %	48,85%	61,78% - 75,48%
	Intensidad energética.	2,29 kj/COP	2 -1,25 kj/COP	1,41 kj/COP	0,61 -0,90 kj/COP
Promover un entorno de mercado competitivo y la transición hacia una economía circular.	Promedio anual de la contribución del IPC de energía sobre el IPC total.	11.5%	7,5%	7,2%	7,8%
	Consumo per-cápita de leña en el sector residencial.	105,51 ton/mil habitantes	36-70 ton/mil habitantes	93,39 ton/mil habitantes	0,41-38,40 ton/mil habitantes
Avanzar en la digitalización y uso de datos en el sector energético.	Porcentaje de usuarios con medidor inteligente.	1,2%-2-4%	90%-100% de los usuarios	3%	90%-100% de los usuarios
Estimular la investigación e innovación y fortalecer las capacidades de capital humano.	Número de grupos de Investigación del Programa Nacional de Energía y Minería.	108	130	110	130
	Inversión en ACTI como porcentaje del PIB13.	0,74%	3,5%	1%	3,5%

*Nota.* La tabla presenta los indicadores por los que se rige los objetivos del PEN 2022 – 2052 de acuerdo a lo que existe actualmente y a lo que se proyecta. *Fuente.* Tomado de. *Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf).

### ***Relación con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)***

Colombia se ha comprometido con los ODS lograr en los próximos 30 años una transición energética como parte del proceso de sostenibilidad del país, siendo estos cinco objetivos a largo plazo plasmados en los ODS, quienes contribuirán en la transformación del sector energético. Dado que en la actualización del PEN 2022 – 2052 se tiene la visión de dar impulso al desarrollo sostenible mediante la transformación del sector energético del país, con el logro de los siguientes ODS: (UPME, 2024a).

**Objetivo 7.** Energía asequible y no contaminante: Es conveniente aprovechar las fuentes de energía limpia y sobre todo bajas en emisiones de gases efecto invernadero, para esto se debe adoptar tecnologías que contribuyan a la eficiencia energética.

**Objetivo 9.** Industria, innovación e infraestructura: Se debe fortalecer la innovación e investigación, el desarrollo estructural de la mano del fortalecimiento del capital humano, siendo la idea principal solucionar de manera definitiva los desafíos tanto ambientales como económicos.

**Objetivo 11.** Ciudades y comunidades sostenibles: Se busca descentralizar la cadena de valor y mejorar la eficiencia energética, buscando mejorar la calidad de vida de los ciudadanos en todo el territorio nacional.

**Objetivo 12.** Producción y consumo responsable: la transición energética busca concientizar a la ciudadanía, brindándoles información de empoderamiento para que tomen excelentes decisiones al momento de consumir con tal de evitar el impacto ambiental.

**Objetivo 13.** Acción por el clima: Se busca aprovechar la infraestructura actual y las fuentes de energía renovables, con el fin de no permitir el aumento de la temperatura que existe a nivel global, de esta manera se contribuye en la reducción de riesgos asociados al cambio climático (UPME, TOMO I).

### **Escenarios Energéticos a Largo Plazo**

Existen cinco escenarios clave en el PEN, estos son proyecciones a futuro basadas en la situación actual, además sirven como herramienta para analizar cómo los diferentes factores podrían afectar al sistema energético, ayudando a tomar decisiones tanto en el sector público como en el privado. Además desde la perspectiva de la demanda tienen dos enfoques, que son identificar las posibilidades y oportunidades actuales a nivel económico, técnico y tecnológico enfocándose siempre desde la transformación que se puede lograr con las energías renovables llevando a cabo prácticas de eficiencia energética y por otro lado, se tiene en cuenta las acciones y desafíos para lograr una transición energética estable, esto conlleva gastos necesarios de inversión, regulaciones, implementación de infraestructura. Ahora desde la perspectiva de la

demanda, es necesario lograr la estabilidad entre las oportunidades que ya existen y los desafíos que sí o sí se deben superar para llegar a una transición energética sostenible en el tiempo.

Sin embargo, es importante resaltar que estos escenarios no son un pronóstico definitivo a futuro, por lo tanto, un escenario no es más probable que el otro, además existen incertidumbres que no han sido tenidas en cuenta, así que por esta razón estos escenarios son actualizados con regularidad. Así mismo, han sido propuestos por iniciativas tecnológicas que buscan el cumplimiento de los objetivos a largo plazo del sector energético, tales como la sostenibilidad, seguridad y competitividad, logrando así en el actual PEN 2022 – 2052 aumentar un (1) escenario, quedando cinco escenarios energéticos proyectados a largo plazo, los cuales se describen a continuación de acuerdo al PEN 2022- 2052 (UPME, 2024a):

### ***Escenario 1 Actualización***

Para el año 2052, Colombia proyecta haber avanzado de manera considerable en la adopción de las tendencias globales de tecnologías energéticas modernas. En este escenario, el país ya habrá implementado las medidas necesarias para diversificar la matriz energética y, de esta manera, mitigar el cambio climático mediante la reducción de emisiones contaminantes, además de promover el uso eficiente de la energía. Así mismo, se habrán realizado avances sustanciales en la actualización de las tecnologías de producción, el uso energético y el transporte.

En este sentido, un avance crucial se ha dado en la gestión y operación de las centrales. La UPME y XM S.A. E.S.P. han establecido alianzas estratégicas y espacios de coordinación para revisar y enfrentar los desafíos en el sistema de transmisión eléctrica. Esta cooperación ha facilitado la identificación de soluciones estructurales e innovadoras que responden a las

necesidades actuales y futuras del sector, permitiendo una mejor integración de las FNCER. La digitalización y la implementación de redes inteligentes y sistemas de almacenamiento son ejemplos de las iniciativas tecnológicas que impulsan la modernización del sistema, con el fin de garantizar la seguridad, sostenibilidad y competitividad a largo plazo, tal como lo define el PEN. Por otra parte, se proyecta una cifra conservadora de reducción del 60% en la demanda energética en comparación con las metas trazadas en el Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PAI-PROURE).

Bajo el Escenario de Actualización, Colombia tiene proyectado reducir progresivamente la producción de gas y petróleo, limitándose a la exploración exclusiva de las reservas existentes de bajo riesgo. Esta política de restricción en la producción conlleva directamente a la necesidad de importar gas natural a partir del año 2031, lo que implica una dependencia temprana de los mercados internacionales y un potencial impacto en la seguridad y los costos del suministro energético nacional.

Pero el llegar a depender de la importación de gas natural tendría una serie de implicaciones que se detallan a continuación. La importación de un recurso estratégico incrementa la vulnerabilidad del SIN, pues la estabilidad del suministro quedaría ligada a la dinámica de los mercados internacionales, los precios y las interrupciones logísticas (UPME, s.f.). Esto comprometería el pilar de seguridad y confiabilidad definido en el PEN.

La necesidad de importar GNL supondría un gasto considerable en divisas para el país, afectando negativamente la balanza comercial y desviando capital que podría destinarse a la inversión en infraestructura de producción nacional, incluyendo proyectos FNCER. Además, esto podría generar un incremento en los costos de generación de electricidad, que dependen en parte de las plantas térmicas que usan gas, trasladando una carga financiera a los usuarios finales.

Recurrir a la importación antes de agotar o desarrollar plenamente las reservas nacionales implicaría una subutilización de los recursos propios. Esto generaría un debate sobre la política de exploración y explotación de gas, un energético que, si bien es fósil, se considera clave para la transición energética y la descarbonización en sectores de difícil mitigación en el corto plazo. Con respecto al carbón térmico (Escenario 1), se anticipa un crecimiento exponencial en la productividad hasta el año 2035, superando los máximos históricos de la última década.

Sin embargo, a partir de ese año, se espera una reducción del 65% en la producción comparada con el 2022. En contraste, la producción de carbón metalúrgico (Escenario 1) se mantendrá estable, siendo utilizado como insumo principal para la producción de coque y destinado primordialmente a la exportación.

En cuanto al hidrógeno, su generación mantiene la tendencia actual, con un consumo local dirigido a las refinerías para el reformado de gas natural. Este escenario no contempla la adecuación tecnológica (retrofit) de sus instalaciones para diversificar la producción.

**Sector Eléctrico y FNCER.** Colombia, a corto plazo, busca impulsar proyectos eléctricos respaldados financieramente por contratos derivados de subastas, lo cual proporciona confiabilidad para establecer compromisos de largo plazo y seguir las tendencias globales. Se utilizará el gas natural como fuente de respaldo para la integración de las FNCER, tales como la solar y la eólica, las cuales liderarán la expansión usando las mejores tecnologías disponibles en el mercado. Es importante señalar que el desarrollo de la energía eólica comenzará en proyectos costa afuera (offshore); no obstante, no se descarta la posible inclusión de la energía geotérmica como fuente alternativa en la matriz energética.

Adicionalmente, aunque no está incluido en el modelo de base, se prevé incorporar tecnologías avanzadas en la red eléctrica, como los sistemas FACTS y HVDC, que optimizan la transmisión energética y minimizan las pérdidas técnicas. De forma análoga, se contempla la adopción de soluciones digitales como herramientas de monitoreo, gemelos digitales y subestaciones inteligentes.

**Sector Industrial.** En el sector industrial, se identifican varios desafíos que inician con la modernización de hornos y calderas que actualmente operan con carbón. A partir del año 2025, se proyecta la sustitución de un 5% de este consumo por biomasa, con un crecimiento anual del 1%. La estrategia también promueve la transición hacia el gas natural o la biomasa, complementada con mejoras tecnológicas en los sistemas de aislamiento. Cabe destacar que se fomentará la adopción de buenas prácticas operativas, junto a la implementación de la gestión energética por medio de tecnologías que optimicen el consumo, como la medición, la automatización y la digitalización.

**Sector Residencial.** Para el sector residencial, se tiene proyectada una transición hacia fuentes energéticas más limpias, reemplazando la leña por estufas mejoradas. De igual forma, entre las acciones para aumentar la eficiencia energética se encuentra el cambio de refrigeradores antiguos por equipos nuevos con etiqueta A, junto a la instalación de medidores inteligentes para controlar el consumo.

Así mismo, se espera la adopción masiva de iluminación LED.

El sector residencial y terciario planea implementar medidas de diseño bioclimático para incrementar la eficiencia energética y el confort térmico. Esto se complementará con la renovación de edificaciones y la ejecución de seis proyectos piloto con el objetivo de reducir el consumo energético en las construcciones.

**Sector Transporte.** El sector del transporte también contempla una transición hacia tecnologías limpias. Como primera medida, se prioriza el gas natural, los vehículos híbridos y eléctricos para el transporte de pasajeros; y el gas natural licuado (GNL) para el transporte de carga pesada. También se estima un ligero incremento de los medios de transporte no motorizados, que representarían un 2% del total de las ventas. De manera simultánea, se espera un traslado del transporte privado hacia el transporte público, con un aumento en las ventas de taxis, buses y autobuses del 0.17% al 2% entre 2022 y 2050, disminuyendo paralelamente la venta de vehículos particulares.

La política colombiana enfrenta una tensión intrínseca entre la seguridad de suministro y las metas de descarbonización. La proyección de que el país pueda requerir la importación de gas para 2031 se debe a la disminución de las reservas nacionales y la necesidad de garantizar la resiliencia de la matriz energética en el corto y mediano plazo. Este aseguramiento es crucial para la generación termoeléctrica de respaldo.

Sin embargo, priorizar simultáneamente el GNL en el sector transporte no es una contradicción, sino una estrategia de transición que busca cumplir con los objetivos ambientales intermedios. El gas natural es considerado un combustible de transición porque, aunque es un fósil, emite menos GEI y contaminantes locales (como material particulado) que la gasolina o el ACPM. Por lo tanto, su promoción en el transporte pesado reduce la dependencia del petróleo a corto plazo, mientras se madura la infraestructura y se logra la viabilidad económica total de la electrificación, que hoy es aún baja (0.2% de penetración).

En consecuencia, para el año 2032, la flota partirá con un total de 26.7 millones de vehículos, de los cuales un 0.96% corresponderá a vehículos eléctricos livianos (camperos, automóviles y camionetas). En cuanto a los vehículos livianos de bajas y cero emisiones

(híbridos, eléctricos y gas natural), estos constituirán el 3.37% del stock total. Para el año 2052, se proyecta un stock total de 39.98 millones. Dentro de este total, los vehículos livianos eléctricos alcanzarán un 20% del stock total y un 40% de participación en las ventas; los vehículos livianos de bajas y cero emisiones sumarán un 33.84%, las motocicletas eléctricas un 62%, y los autobuses y transporte masivo un 26%.

Este escenario de actualización logrará para el año 2032 un nivel de electrificación del 7% en flotas de transporte por carretera, y para el 2052, este porcentaje ascenderá al 52.41%. Se estima que habrá alrededor de 155.000 volquetas, camiones y tractocamiones operando con gas natural licuado.

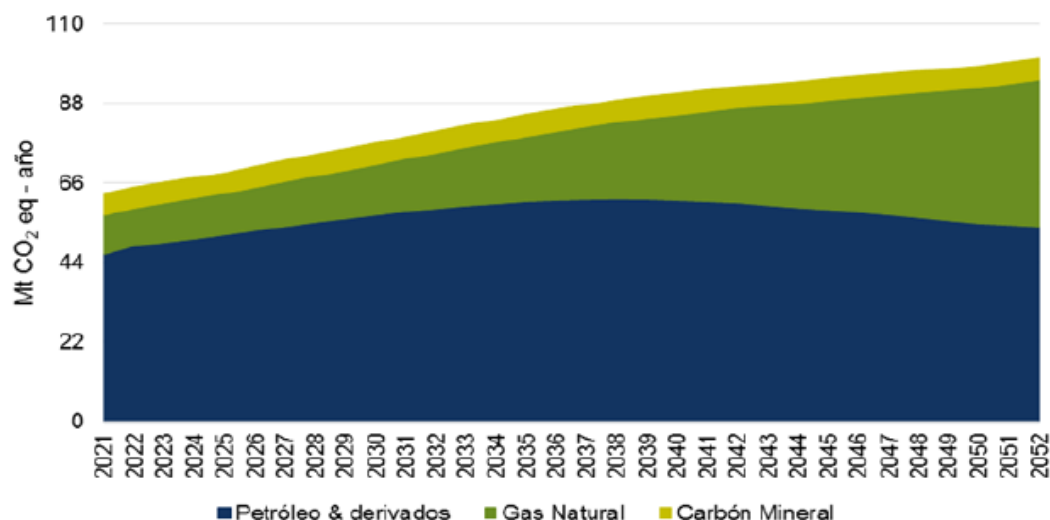
En la figura 15 es posible visualizar la evolución de la emisión de gases efecto invernadero respecto al uso final de las fuentes energéticas fósiles en Colombia, donde en el periodo 2032 -2052 las emisiones del petróleo y sus derivados disminuyen de manera progresiva sus emisiones reduciendo del 65% al 60% en los primeros años y en el año 2052 llegar al 54% de emisiones, relacionando esta disminución a la implementación de tecnologías limpias en sectores de generación eléctrica y sector del transporte.

Con respecto a las emisiones del gas natural aumentan en el año 2032 cerca del 27% y para el año 2052 cubre un 40% del total de emisiones, esto debido al uso de este energético como reemplazo del carbón en sectores residenciales e industriales. El carbón mineral reduce su participación para el año 2032 llegando al 8% y para el año 2052 al 6%, lo que refleja un cierre en las plantas de producción.

Este escenario refleja una leve transición energética de emisiones a pesar de que se disminuye el uso del petróleo y el carbón, el gas natural continúa su aumento como combustible puente hacia la descarbonización.

**Figura 15**

*Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo – Escenario Actualización (Mt CO<sub>2</sub>eq-año)*



*Nota.* La figura presenta las emisiones que genera el uso de combustibles fósiles en el escenario de actualización proyectado hacia el 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

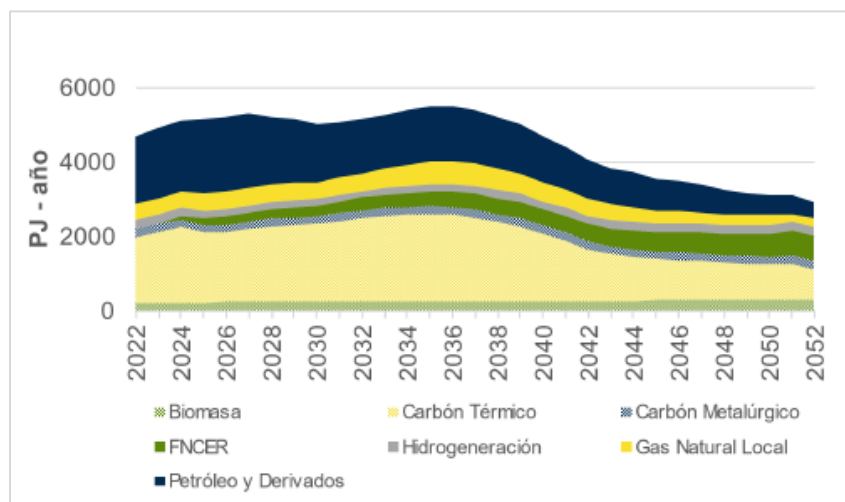
[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

En cuanto a la oferta energética total en Colombia proyectada para el año 2052 es de 2.942 PJ, donde los combustibles fósiles aún dominan la matriz energética con un 58%, siendo el carbón la principal fuente energética con una participación del 35%, sin embargo, a pesar de que los combustibles son los que predominan, se puede notar una expansión significativa con respecto a las fuentes renovables, especialmente las FNCER alcanzando un 23% de participación en la matriz energética, esto equivale 686 PJ/año. En la figura 16 se puede ver esta oferta energética nacional, donde se evidencia la necesidad de impulsar políticas que ayuden en la incorporación de FNER de manera sostenida y efectiva hacia 2030 y 2050, ya que, si bien el uso

de combustibles está disminuyendo levemente su participación, aún mantienen su papel protagónico.

### Figura 16

*Producción Total Energética (PJ-año) – Escenario actualización*



*Nota.* Esta figura muestra la generación total de energía proyectada en el escenario de actualización hacia las próximas tres décadas. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

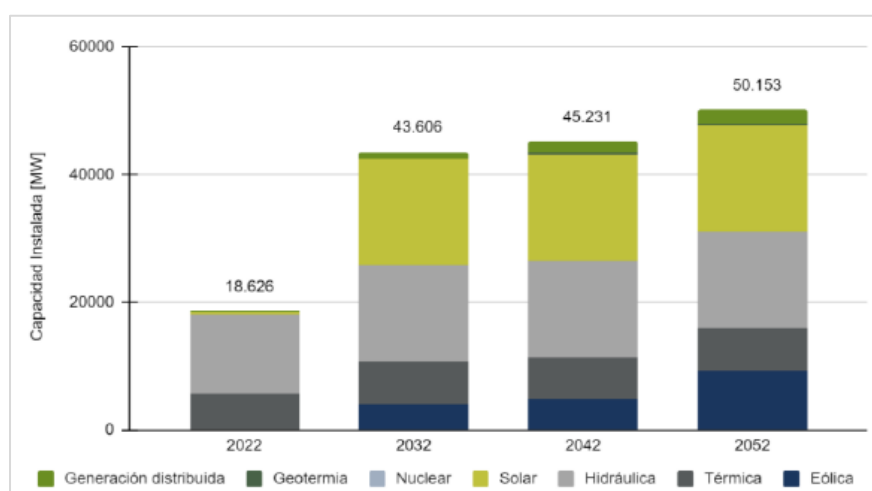
[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

Con respecto a la capacidad instalada en el escenario de actualización se proyecta una transformación notoria en todo el sistema eléctrico colombiano. En la figura 17 se puede observar que en el año 2022 la capacidad era de 18.626 MW donde predomina la energía hidroeléctrica y térmica, sin embargo, para el año 2032 siendo un marco de mediano plazo ya se nota un incremento considerable de 43.606 MW con una acelerada incorporación de fuentes eólicas y solares. A largo plazo siendo el año 2052 la capacidad instalada sube a 50.153 MW, donde el 51% de capacidad instalada pertenece a las FNCER, distribuidas en fuentes de la

siguiente manera: eólica 26%, solar 24% y fuentes geotérmicas 1%. Este resultado es bastante esperanzador, por un lado, sin embargo, por otro lado, es preocupante la falta de integración de nuevas fuentes de energía renovable más allá de la eólica y fotovoltaica, lo que representa un desafío futuro de resiliencia energética para cumplir con los objetivos esperados para 2032 y 2052.

### Figura 17

*Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética - Escenario Actualización (MW)*



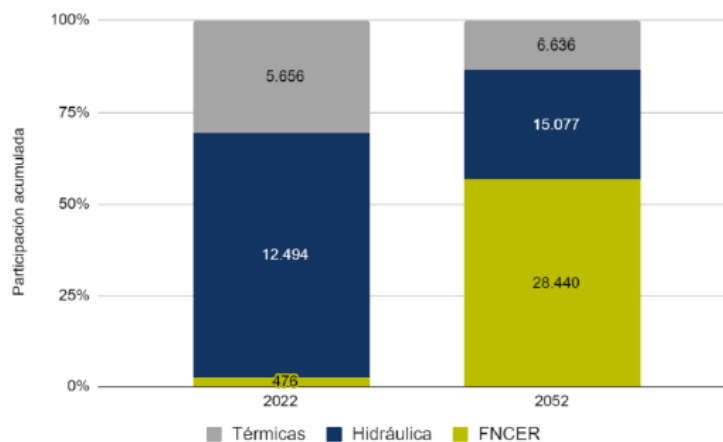
*Nota.* La figura presenta la capacidad instala que el PEN tiene proyectado en el escenario de Actualización hacia los años 2032 - 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

Acerca de la evolución que se proyecta en cuanto a la capacidad instalada por cada tipo de fuente tecnológica en este escenario de actualización para el año base (2022), la matriz energética estaba dominada por las fuentes hidráulicas representando cerca del 67% (12.494

MW), las fuentes térmicas representaban un 30% aproximadamente con 5.656 MW mientras que las FNCER tenían una participación limitada de apenas un 3% de la capacidad nacional con tan sólo 476 MW. Dado que este escenario no tiene ambición de electrificación del sistema energético entre los 2032 y 2052 el aumento de la capacidad instalada de las FNCER es mínimo, razón por la cual en la figura 18 sólo se observa la proyección a 2052 donde el aumento de las FNCER desde el año 2022 si es sustancial proyectando una capacidad instalada de 28.440 MW, donde la energía solar es quien lidera este crecimiento con una proyección de 16.627 MW, seguida por la energía eólica con proyectos en tierra firme con una capacidad instalada de 7.822 MW y consta afuera de 1.500 MW para un total de 9.322 MW.

### Figura 18

*Participación Acumulada por Cada Fuente – Escenario Actualización (MW)*



*Nota.* La figura presenta la proyección de participación de las Fuentes no Convencionales de Energía Renovable hacia el año 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

Ya para finalizar, en temas de autogeneración y cogeneración se espera una capacidad instalada de 3 GW para el año 2052, donde el 50% está representada por energía solar, el 23% gas natural, 13% la hidroeléctrica y el 8% el bagazo.

Con respecto a la industria del hidrógeno en este escenario no tiene ningún desarrollo significativo, ya que su producción se ve limitada a 16 PJ de hidrógeno gris y tan sólo 2 PJ de hidrógeno azul.

### ***Escenario 2 Modernización***

Para el año 2052, Colombia moderniza su sistema energético mediante el uso de tecnologías más limpias y con menor impacto ambiental. Este escenario promueve la expansión del uso de gas natural en áreas viables, aprovechando este recurso nacional disponible, e impulsa el desarrollo de la eficiencia energética. En consecuencia, el país proyecta alcanzar el 80% de los objetivos del PAI-PROURE, lo que representa un compromiso de eficiencia energética más ambicioso en comparación con el Escenario de Actualización.

Con respecto al carbón térmico en este segundo escenario de modernización, se espera que su producción estimada hasta el año 2035 se mantenga cerca de los 60 millones de toneladas, con una tendencia posterior al decrecimiento. Esta disminución a partir de 2035 se estima en un 65% menos en comparación con la producción de 2022. En cuanto al carbón metalúrgico, se observa una tendencia de aumento gradual, proyectándose que al final del periodo se duplique la producción registrada en 2022.

La proyección de hidrógeno gris, utilizado para satisfacer la demanda en las refinerías locales de petróleo mediante tecnologías de reformado de gas natural a vapor (SMR), plantea la conversión de estas plantas para incrementar su producción. Se espera una capacidad instalada

total de 25 kton-H<sub>2</sub> para 2030, una meta intermedia de 50 kton-H<sub>2</sub> para 2040, y una meta final de 150 kton-H<sub>2</sub> para 2050.

En contraste, el hidrógeno verde, producido mediante electrólisis alimentada por energía solar, tiene como objetivo activar la producción nacional a gran escala. Se proyecta la instalación de 500 MW de electrolizadores para 2030, con una meta para 2052 de 4.4 GW de electrolizadores, lo cual requerirá una capacidad solar instalada asociada de 21 GW para su correcto funcionamiento.

En lo relativo a la demanda eléctrica, se pronostica una disminución debido principalmente al uso de gas natural, manteniendo así la capacidad instalada por cada tipo de tecnología. No obstante, se evidencia una participación limitada de proyectos eólicos en tierra (onshore) en comparación con el Escenario de Actualización. Con respecto a la energía geotérmica, su promoción sigue siendo limitada, incorporándose tan solo un proyecto.

En las redes eléctricas sí se contempla un plan ambicioso, enfocado en la ampliación de la infraestructura pública y el fomento de la participación activa de los usuarios.

**Sector Industrial.** Se implementarán calderas de lecho fluidizado para reducir el consumo de carbón en un 8% a partir de 2025, con una disminución anual posterior del 1%. En la industria cementera, el carbón se sustituirá por biomasa en un 16%. Adicionalmente, se incrementará el uso de gas natural mediante calor directo e indirecto, implementando sistemas de gestión energética en aproximadamente 10.000 empresas.

**Sector Rural y Residencial.** Se eliminará el uso de la leña para cocinar en el sector rural, transicionando a otros combustibles. Se mejorarán los refrigeradores comerciales y se reemplazarán las neveras domésticas por equipos con etiqueta A, logrando un 21% más de reemplazos en comparación con el Escenario de Actualización.

**Construcción.** Se fomentará el diseño bioclimático para nuevas edificaciones, mejorando la eficiencia de los materiales de construcción. Se proyecta la renovación de 420.000 establecimientos grandes y 2.000 establecimientos pequeños. El uso de plataformas digitales de gestión energética fortalecerá las prácticas sostenibles, logrando un ahorro en el sector de la construcción del 18%.

Dada la alta disponibilidad de gas, se impulsará la transición vehicular hacia tecnologías de bajas y cero emisiones. Se estima que los vehículos no motorizados alcancen un 3% en ventas, excluyendo los motorizados. De igual forma, se proyecta una migración del transporte privado al público, aumentando las ventas entre 2022 y 2052 de la siguiente manera: los taxis alcanzarán del 0.51% al 3%; los buses, del 0.17% al 3%; y los microbuses, del 0.05% al 3.5%.

**Proyección de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).** De acuerdo con la Figura 19, es posible observar que las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Colombia para el año 2021 se distribuían así: 73% proveniente del petróleo y sus derivados, 17% del gas natural y 10% del carbón.

Hacia 2032, se proyecta un incremento de las emisiones GEI con respecto a 2021. El petróleo y sus derivados se mantienen como la principal fuente emisora, aunque estabilizando su ritmo de crecimiento. El gas natural aumenta significativamente su participación en estas emisiones, lo que evidencia un mayor uso de combustibles fósiles menos contaminantes. El carbón, por su parte, mantiene una participación limitada.

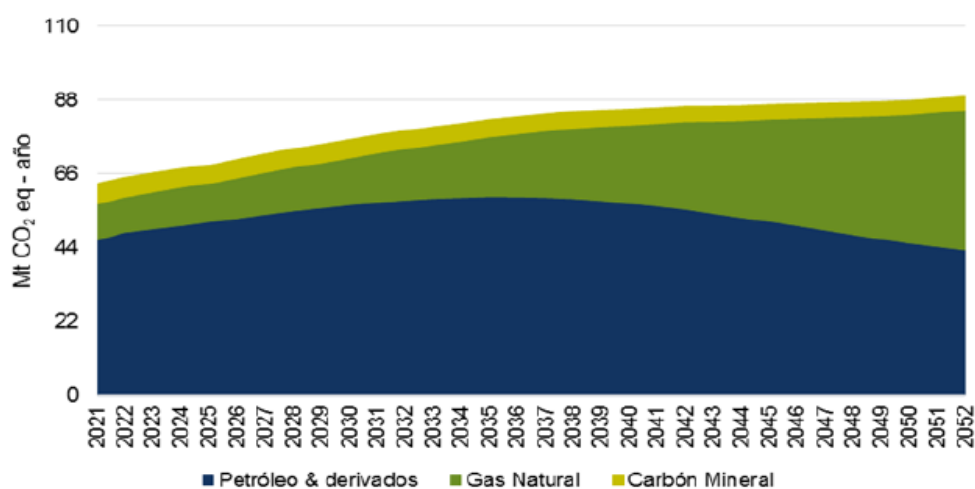
Por ende, la Figura 19 ilustra que, aunque no existe una reducción clara de las emisiones totales, se requiere la intervención de políticas de transición energética más rigurosas, o el objetivo de descarbonización se verá limitado a mediano plazo.

Para el año 2052, el panorama es relativamente más positivo: si bien las emisiones totales se mantienen altas y con un aumento constante, se espera un cambio sustancial en la composición. El petróleo y sus derivados disminuirán del 73% en 2021 a solo el 49% del total; el gas natural alcanzará un aumento máximo del 47%; y el carbón mineral reducirá su participación en las emisiones al 5%.

Esta transformación indica que una transición energética está en marcha. Sin embargo, aunque la reducción del uso del carbón es positiva, el alto porcentaje de emisiones del gas natural sugiere que aún no se ha logrado un salto definitivo hacia las FNCER como la solar o eólica. Por lo tanto, el predominio de las emisiones generadas por petróleo y gas para 2052 evidencia que las políticas actuales son insuficientes para alcanzar la meta de descarbonización total en este escenario de modernización.

### Figura 19

*Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo – Escenario Modernización (Mt CO<sub>2</sub>eq-año)*



*Nota.* La figura presenta las emisiones que genera el uso de combustibles fósiles en el escenario de Modernización proyectado hacia el 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022*

– 2052 Tomo I. (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

Bajo este escenario de modernización se proyecta una transformación de la matriz energética de forma gradual, disminuyendo progresivamente el uso de combustibles fósiles para dar paso a un crecimiento significativo de las energías renovables.

A mediano plazo (2032) en la figura 20 se nota una alta participación en la producción energética de fuentes derivadas de combustibles fósiles y las FNCER ya presentan un aumento ascendente en su producción, pero sin lograr superar las fuentes fósiles que son las predominantes; la biomasa mantiene su presencia en la matriz de manera estable, con una transición activa pero su crecimiento es muy lento y no representa un cambio dentro de la matriz productiva.

A largo plazo (2052) la matriz energética ya se consolida con gran impulso donde su producción total de energía llega a los 3.037 PJ con tendencia ascendente, además la participación de los combustibles fósiles desciende al 45% del total de la producción, lo que representa un cambio drástico dentro de la matriz de acuerdo al predominio que tenía los años anteriores.

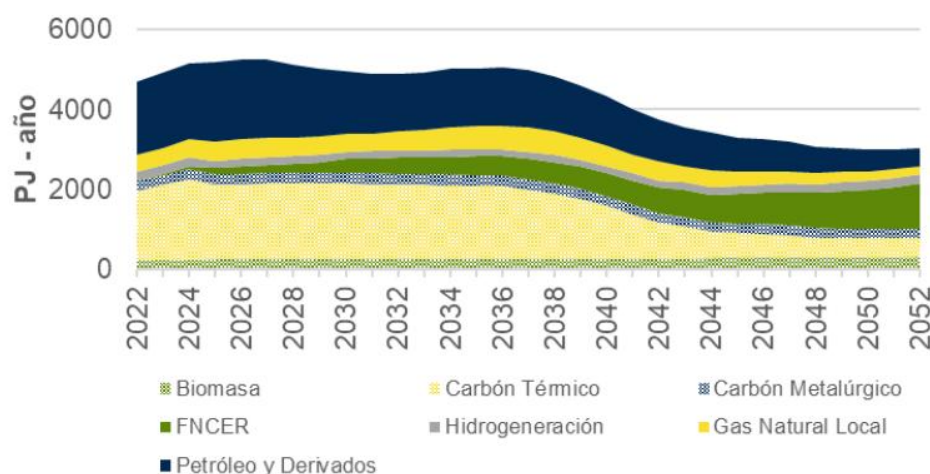
En cambio, las FNCER ocupan el segundo lugar de la matriz nacional aumentando su participación a un 38% lo que equivale a 1.140 PJ; la biomasa ocupa un 10% con 308 PJ y la hidroelectricidad ocupa un 8% con 238 PJ.

Este horizonte representa un cambio en la estructura de la matriz energética respondiendo a las políticas de transición energética actuales puesto que es notorio el creciente desarrollo de proyectos de fuentes renovable no convencionales, disminuyendo de manera progresiva la

dependencia a los combustibles fósiles, dejando como resultado para el 2052 una matriz energética baja en carbono por ende será más sostenible, diversificada y resiliente debido al peso creciente de las FNCER.

## Figura 20

*Producción Total de Energética – Escenario Modernización (PJ-año)*



*Nota.* Esta figura muestra la generación total de energía proyectada en el escenario de Modernización hacia las próximas tres décadas. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

La evolución de la capacidad instalada de generación eléctrica por cada fuente energética cada 10 años en Colombia bajo este escenario de modernización tiene proyectado que para el año 2032 según la figura 21, que duplicará la capacidad instalada con respecto al año 2022 que es el año base, pasando de 18.625,8 MW a 43.606 MW obedeciendo este aumento a la expansión de tecnologías renovables no convencionales como la solar que es la fuente más influyente y

representativa con un aproximado de 16.627 MW lo que indica que tiene un gran impulso político; le sigue la energía eólica que aumenta de manera significativa pero aún se encuentra lejos de llegar a su punto máximo proyectado; en cuanto a la energía geotérmica apenas inicia su integración a la matriz energética y la energía hidráulica mantiene su capacidad instalada con base firme.

Por lo tanto, cabe resaltar que a este tiempo de mediano plazo el país ya da a conocer su compromiso frente a la diversificación de la matriz energética a pesar de que aún mantiene una significativa presencia de fuente térmica proveniente especialmente del gas natural.

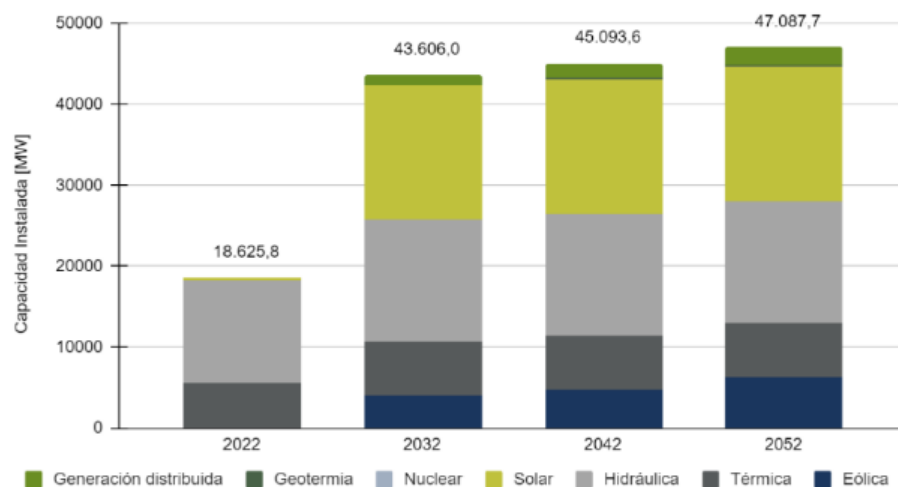
Para el 2052 la capacidad instalada total será de 47.088 MW representando un crecimiento moderado de acuerdo al año 2032, no obstante, este cambio estructural en la matriz energética es sustancial ya que el 46% está representado por FNCER desglosadas de la siguiente manera: 26% a la fuente de energía solar, 19% eólica y 1% geotérmica; el 44% proviene de la energía hidráulica y la generación de energía térmica disminuye al 10% donde el gas natural representa el 9% y el carbón térmico tan sólo el 1%.

Por ende, estos resultados indican de manera clara el desplazamiento del uso de combustibles fósiles por fuentes más limpias, encaminando a soluciones más sostenibles y descentralizadas como la energía solar y la generación distribuida.

Por otra parte, cabe mencionar que a pesar de que en este escenario de modernización se proyecta la masificación de gas natural como respaldo energético de fuente menos contaminante, su impacto en cuanto a la capacidad instalada es limitado y esto refuerza la tendencia hacia la descarbonización.

**Figura 21**

*Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética - Escenario Actualización (MW)*



*Nota.* La figura presenta la capacidad instalada que el PEN tiene proyectado en el escenario de Modernización hacia los años 2032 - 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

En la figura 22 se tiene una visualización clave de la participación acumulada por tecnologías de generación eléctrica medido en PJ-año, en el que es posible comprender la transición hacia una matriz energética más limpia, sostenible y diversificada. Donde el año base (2022) las FNCER tenían menos del 3% de participación con solo 470,9 PJ, la energía térmica aproximadamente 29% con 5.656,2 PJ y la tecnología hidráulica un 64% con 12.493,7 PJ.

Ya para el año 2052 con el transcurrir de tres décadas, el panorama es totalmente distinto en la composición energética, aquí las FNCER participan en un 53,9% con 25.375,1 PJ siendo ahora el eje de la matriz, superando por primera vez a las fuentes convencionales con una

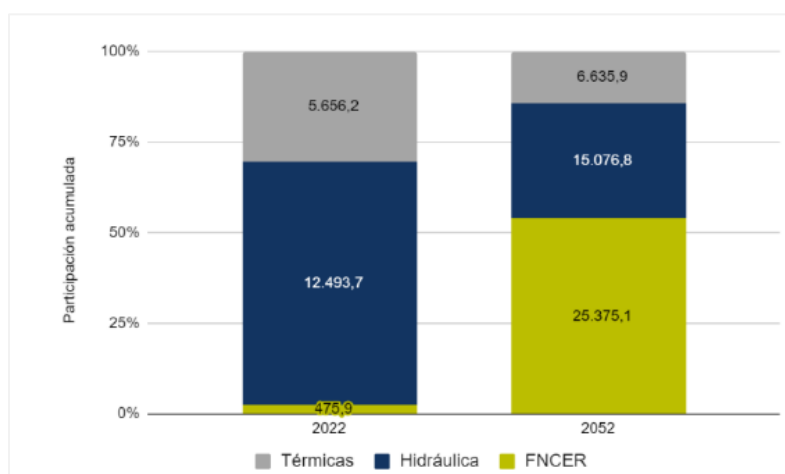
participación acumulada del 54%. En este caso las tecnologías que están bajo las FNCER del PEN 2022-2052 son la energía eólica, solar, geotermia junto a la generación distribuida las cuales dejan de ser casi nulas en la matriz energética para convertirse en las fuentes principales de generación renovable en el largo plazo del escenario de Modernización.

La energía hidráulica mantiene su participación relevante con un 32% (15.076,8 PJ), pero deja de ser la fuente predominante como se podía observar en el año 2022.

La energía térmica alcanza apenas un 14% con 6.635,9 PJ del total acumulado.

## Figura 22

*Participación Acumulada por Cada Fuente Energética -. Escenario de Modernización (PJ-año)*



*Nota.* La figura presenta la proyección de participación de las Fuentes no Convencionales de Energía Renovable hacia el año 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

El escenario de Modernización hacia 2052 también proyecta lograr una capacidad total de autogeneración y cogeneración de aproximadamente 3 GW, donde las FNCER juegan un papel importante, donde el 50% de participación pertenece a la energía solar que es 1,5 GW instalado, seguido del gas natural con un 23% y un 8% el bagazo.

Con respecto al hidrógeno verde se estima que tendrá un impulso significativo gracias al crecimiento exponencial de la energía solar, para el año 2030 se proyecta que haya 500 MW de capacidad de electrolizadores, aumentando de manera progresiva hasta llegar a 4,4 GW en el año 2052. Sin embargo, para su desarrollo se requiere de 21 GW de capacidad instalada de energía solar, de esta manera habrá una producción de hidrógeno verde entre 17 y 19,6 PJ, al punto de lograr exportar unos 120 PJ al año.

Teniendo en cuenta que se genera a partir de fuentes renovables como la energía solar y debido a su alto potencial para descarbonizar diversos sectores industriales, el hidrógeno verde es considerado un componente clave en la transición energética de Colombia.

### ***Escenario 3 Inflexión***

Para el año 2052, Colombia romperá la tendencia histórica de depender de los combustibles fósiles, gracias a la inversión acelerada y masiva en tecnologías limpias que ganarán mayor relevancia y se constituirán en el eje central del suministro energético nacional. Complementando las estrategias de mitigación del cambio climático, el país logrará cumplir al 100% con el potencial de eficiencia energética pactado en el PAI-PROURE 2022-2030. En este escenario, al igual que en el de Modernización, se pronostica que Colombia mantendrá su rol de exportador de energía gracias a las reservas de gas natural y petróleo. Por ello, se

continuará promoviendo el uso de gas en varios sectores, evitando la importación de grandes volúmenes de petróleo, y asegurando así el abastecimiento de las refinerías hasta el año 2040.

En cuanto a la extracción de carbón térmico, esta se acercará a los 60 millones de toneladas con una disminución leve hasta el año 2035. Con respecto al carbón metalúrgico, tenderá a un aumento que triplicará el valor de producción de 2022 para el año 2052.

**Hidrógeno Azul y Gasificación con CCS.** Para el año 2030, se proyecta que la capacidad productiva del hidrógeno azul con Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS) alcanzará los 50 kton-H<sub>2</sub> al año, y para el año 2052, aumentará a 250 kton-H<sub>2</sub>. De igual forma, se incluirán plantas de gasificación de carbón con CCS, cuya producción llegará a 81 kton-H<sub>2</sub> en 2030 y 300 kton-H<sub>2</sub> en 2052.

**Hidrógeno Verde.** Se proyecta la producción de 1 GW para el año 2030 con electrolizadores PEM, iniciando con 900 MW en 2027. Para el año 2052, se planteará alcanzar los 7.7 GW de electrolizadores, lo que requerirá un respaldo de 28 GW de energía solar y 5 GW de energía eólica.

**Energía Nuclear.** A partir del año 2038, se incorporará la energía nuclear mediante la implementación de Reactores Modulares Pequeños (SMR). Entre los años 2041 y 2045, se instalarán bloques con una capacidad de 300 MW.

**Fuentes Renovables y Eficiencia Energética.** Este escenario contemplará una alta implementación de proyectos de energía eólica costa afuera (offshore), constituyéndose como la proyección más ambiciosa de la hoja de ruta nacional. El desarrollo de la energía geotérmica también experimentará un aumento significativo respecto a los escenarios de Actualización y

Modernización. La energía solar mantendrá su capacidad fotovoltaica, reflejando una inversión previa en esta fuente energética.

Colombia buscará aprovechar el 100% del potencial de eficiencia energética al 2030 pactado en el PAI-PROURE 2022-2030. Por ejemplo, en el sector industrial, se reducirá un 10% el consumo de carbón para el año 2025, y se continuará esta reducción en un 1% anual. Además, se planificará implementar sistemas de gestión energética en unas 13.000 empresas, con el fin de incrementar el uso de electricidad a partir del año 2035 en un 15%, especialmente en procesos térmicos. De igual modo, la industria cementera buscará reemplazar el carbón por biomasa en un 28%.

El sector del transporte también se encaminará hacia una transición energética, incorporando de manera progresiva vehículos eléctricos y un mayor uso de GNL en el transporte pesado. Para el año 2052, se prevé incorporar el hidrógeno como fuente energética en aproximadamente 3.800 volquetas y tractocamiones, además de 5.500 camiones.

Con el fin de promover una movilidad más limpia, se reducirá el uso de gas natural y gas licuado de petróleo (GLP) en motores de carga y servicio automóvil, buscando que el 5% de las ventas de vehículos sean de tipo no motorizado.

Con respecto al transporte privado, para el año 2052 se observará un cambio significativo en la migración hacia el transporte público. La venta de microbuses aumentará del 0.05% al 5%, la de buses del 0.17% al 5%, y la de taxis del 0.51% al 5%. En consecuencia, se evidenciará una disminución notable en la flota de vehículos particulares, lo que favorecerá una movilidad de bajas emisiones y más sostenible.

La emisión total de CO<sub>2</sub> de este Escenario de Inflexión aumentará levemente a lo largo del periodo 2021–2052, alcanzando 77.4 Mt CO<sub>2</sub> al final de este periodo de estudio, un

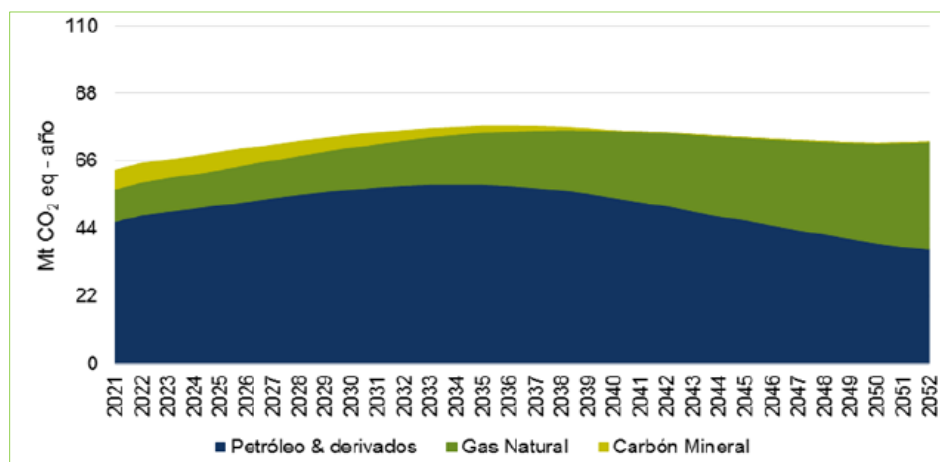
incremento del 10% respecto a 2021. El sector del transporte será responsable de la mayor parte de las emisiones, con una participación del 65.2%, debido a la gran dependencia al petróleo.

Hacia el año 2030, la Figura 23 mostrará un pico en las emisiones totales de aproximadamente 75 a 89 Mt CO<sub>2</sub>eq. La mayor fuente de emisiones continuará siendo el petróleo y sus derivados, aunque en este punto empezará a disminuir. El gas natural se posicionará como el segundo contaminante, y el carbón aportará una muy baja emisión de gases.

Ya para el año 2052, si bien las emisiones totales no aumentarán de manera descontrolada, se evidenciará un cambio en la fuente de las mismas. Se proyecta una disminución significativa en las emisiones del petróleo y sus derivados, que solo representarán el 51% del total. El gas natural, por su parte, aumentará sus emisiones al 49% de participación total, y el carbón mineral habrá eliminado sus emisiones por completo, debido a la sustitución progresiva de esta fuente energética.

### Figura 23

*Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo - Inflexión (Mt CO<sub>2</sub>eq-año)*



*Nota.* La figura presenta las emisiones que genera el uso de combustibles fósiles en el escenario de inflexión proyectado hacia el 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 –*

2052 Tomo I. (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

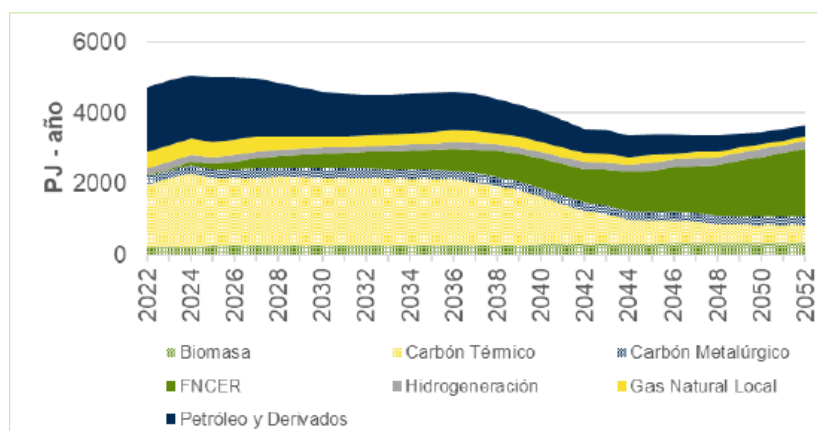
De acuerdo a este escenario de inflexión tiene proyectado que la producción de energía total en el país alcance los 3.621 PJ a largo plazo, sin embargo, a mediano plazo, es decir para el año 2032 se nota esta primera fase de transición energética, donde los combustibles fósiles a pesar de que aún mantienen una excelente participación, se pueden evidenciar que descienden levemente su producción, especialmente en el caso del petróleo y sus derivados. Cabe resaltar que es precisamente en este punto donde las fuentes de energías renovables como la biomasa y las FNCER empiezan a aumentar de manera ascendente su participación en la oferta energética.

Ya para el año 2052, este proceso de transformación energética es más evidente, donde los combustibles fósiles reducen su participación total a un 30%, pasando a ocupar mayor importancia y protagonismo las FNCER representando un 53% de la matriz energética, lo que equivale a 1.942 PJ, esto sin sumar 236 PJ de la hidro generación que representa un 7% y 345 PJ de biomasa que representa un 9%; de esta manera si es posible contar con una matriz energética más diversificada y con un nivel bajo en carbono que se alinea con los objetivos de sostenibilidad.

En la figura 24 muestra esta evolución en la producción total energética con un crecimiento sostenido en la participación de energías renovables, siendo la década del 2022 al 2032 tiempo clave en este escenario de inflexión para invertir en tecnologías limpias, consolidar los marcos normativos y tomar decisiones estratégicas que aseguren el cumplimiento de metas a largo plazo.

**Figura 24**

*Evolución en la Producción Total Energética en Colombia - Inflexión (PJ-año)*



*Nota.* Esta figura muestra la generación total de energía proyectada en el escenario de inflexión hacia las próximas tres décadas. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

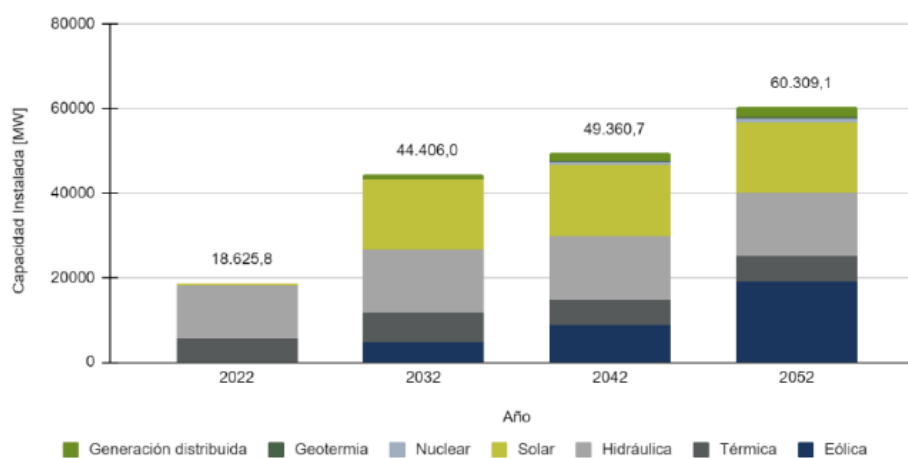
Ahora tocando el tema de la capacidad instalada en el SIN por cada fuente energética igualmente refleja un gran cambio en el modelo estructural energético del país, dado que para el año 2052 se estima una capacidad total instalada de 60.309 MW, esto representa aproximadamente un 3,1 de veces lo que existía en el año 2022 que era 18.625 MW.

Este crecimiento se debe a la transformación en la matriz energética donde lideran las FNCER con un 65% de capacidad instalada, este escenario de inflexión proyectado en la figura 25, se puede ver que destaca en primer lugar la energía eólica con un 42% de participación total, seguido de la energía solar fotovoltaica con un 18%, nuclear 4% y geotermia 1%, evidenciando así un fuerte impulso hacia la implementación de tecnologías más limpias.

Teniendo en cuenta el anterior panorama, para el año 2032 se tiene previsto un incremento sustancioso ya que alcanza los 44.406 MW duplicando la cantidad instalada del año 2022. En esta etapa a mediano plazo las FNCER dan inicio a su expansión en grande dentro de la matriz energética y desplazando a las fuentes que más emisiones contaminantes generan como los combustibles fósiles. Esta expansión en la capacidad total instalada, además de reflejar el aumento en la demanda eléctrica también refleja un cambio estratégico de las políticas del país, el cual busca alinear los objetivos a 2050.

### Figura 25

*Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética – Escenario Inflexión (MW)*



*Nota.* La figura presenta la capacidad instala que el PEN tiene proyectado en el escenario de Inflexión hacia los años 2032 - 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

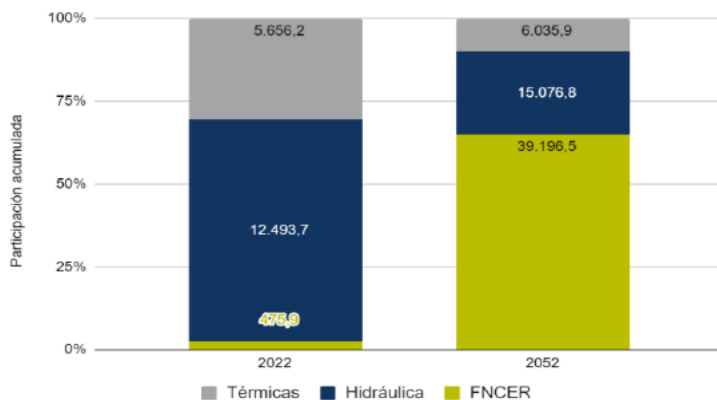
En la figura 26 se muestra la proyección de cambio drástico en la estructura de la matriz energética para el año 2052, donde las FNCER dominan la participación acumulada con 39.196 PJ/año, es decir más del 60% del total con respecto el año 2022 que era solamente 476 PJ/año. Este aumento significativo evidencia un sostenido avance en la integración de energías limpias como la eólica, solar, geotérmica, el cual se mantiene y fortalece gracias a las otras formas de generación distribuida que generan 2.213 MW, junto a la geotermia con 400MW, datos que fueron proyectados teniendo en cuenta la base de datos de los operadores de red.

Por otro lado, la energía hidráulica también aumenta, pero de manera más moderada pasando de 12.493 PJ/año en el año 2022 a 15.076 PJ/año, convirtiéndose en la fuente de respaldo para el sistema energético nacional.

Cabe reafirmar que, para lograr la anterior proyección de los niveles de participación de las FNCER, será clave la incorporación de energías de electrónica de potencia junto a sistemas de almacenamiento a gran escala, lo cual permitirá la gestión eficiente de estas fuentes energéticas además de asegurar el suministro al sistema eléctrico del país.

### Figura 26

*Evolución de la Participación Acumulada por Tipo de Fuente Energética a Largo Plazo – Escenario Inflexión (PJ-año).*



*Nota.* La figura presenta la proyección de participación de las Fuentes no Convencionales de Energía Renovable hacia el año 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

Este escenario de Inflexión también tiene proyectado hacia 2052 que la cogeneración y generación distribuida logren una capacidad total de 3 GW, siendo la energía solar la principal fuente el cual ocupará un 50% de total de la capacidad. Este protagonismo de la energía solar resalta que las FNCER cuenta con sistemas energéticos diversificados y descentralizados.

Con respecto al hidrógeno verde se espera un fuerte impulso a raíz de la expansión de proyectos solare y eólicos en tierra firme, iniciando su producción con 900 MW para el año 2027 y crecerá de forma ascendente hasta lograr los objetivos establecidos en la hoja de ruta del hidrógeno verde que es contar con 1 GW de electrolizadores para el año 2030 y para el año 2052 alcanzar los 7,7 GW. Para lograr los anteriores resultados se necesitará una capacidad de 28 GW de energía solar y 5 GW de energía eólica terrestre.

Este crecimiento dará alcance para producir hidrógeno verde de manera local el cual oscilará los 16,6 y 22,6 PJ al año, así mismo, exportar a finales de 2052 hasta 270 PL anual, de esta manera el hidrógeno verde se establece como un transmisor clave para posicionar a Colombia en el mercado internacional de energías limpias.

#### ***Escenario 4 Innovación***

En Para el año 2052, Colombia espera alcanzar una transformación profunda en el sistema energético, rompiendo con las prácticas tradicionales de producción y consumo. Esto se

deberá a la inversión sustancial y acelerada en nuevas tecnologías emergentes que, a pesar de que algunas aún se encuentren en etapas de iniciación, impulsarán una transición energética limpia y sostenible de la matriz. En este Escenario de Innovación, el país aspirará a lograr metas de eficiencia energética superiores a las establecidas en el PAI-PROURE, en el cual se profundizará más adelante.

Con respecto al carbón térmico, se prevé una caída del 90% en su producción entre 2022 y 2035, lo que impulsará la sustitución de tecnología en sectores clave. En contraste, el carbón metalúrgico presentará un aumento significativo en su extracción, al punto de triplicar la producción de carbón térmico a finales de 2052, como respuesta a la estrategia de demanda en procesos industriales.

En relación con la producción de hidrógeno, Colombia proyecta una transformación mayúscula, tanto con el hidrógeno verde como con el azul. Se contemplará la modernización de plantas de reformado a vapor de gas natural para la producción de hidrógeno azul, incorporando tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS), con una capacidad de 50 kton-H<sub>2</sub> para el año 2030 y 250 kton-H<sub>2</sub> para 2052. De igual modo, se incluirá la gasificación de carbón en plantas, permitiendo la producción de 81 kton-H<sub>2</sub> para 2030 y 300 kton-H<sub>2</sub> para 2052. Esta diversidad de fuentes energéticas fortalecerá la estrategia nacional de contar con una matriz tecnológicamente avanzada y más limpia.

En la generación eléctrica se pronostica el escenario con la mayor capacidad instalada. Se proyecta una expansión ambiciosa de energía eólica costa afuera y costa adentro (terrestre), duplicando la proyección propuesta en el Escenario de Inflexión. Esto se deberá al aumento de la demanda eléctrica impulsada por la adopción de las nuevas tecnologías, ampliando de manera

proporcional la capacidad de la fuente hidroeléctrica frente a la energía solar, con el propósito de garantizar un cubrimiento en caso de intermitencia de esta energía renovable.

La generación de energía geotérmica presentará un aumento del 70% en la capacidad instalada con respecto al Escenario de Inflexión, a pesar de que su participación en la matriz energética continuará siendo muy baja. Así mismo, se mantendrá la inclusión de energía nuclear con la implementación progresiva de reactores modulares pequeños de tipo SMR para los años 2038, 2041 y 2045, con una capacidad de 300 MW. Los objetivos de eficiencia energética serán los más ambiciosos de todos los escenarios planeados en el PEN, al punto de superar las metas del PAI-PROURE. De hecho, en las industrias se planificará eliminar el uso del carbón de forma definitiva a partir del año 2030, para empezar a utilizar energía de biomasa. También se prevé una sustancial participación de hidrógeno y gas natural en los diversos procesos industriales que requieren calor directo e indirecto.

En el sector del transporte, para el año 2052 se proyecta una gran transformación, puesto que los vehículos serán 100% eléctricos, desde el transporte masivo hasta las motocicletas. En cuanto al transporte pesado, se introducirán tecnologías limpias de la siguiente manera: aproximadamente 57.000 vehículos a GNL y 16.500 vehículos con hidrógeno. También se buscará la transición del uso de vehículos privados hacia el transporte público, junto con la utilización de medios de transporte no motorizados que alcanzarán un 7% en ventas netas.

Con respecto a la emisión de gases contaminantes relacionada al consumo final de energía, se reflejará un avance claro hacia la descarbonización, a pesar de los desafíos. En 2021, la mayoría de emisiones (73%) provenía del uso del petróleo y sus derivados, 17% de gas natural y 10% de carbón mineral. En torno al año 2032, la Figura 27 evidenciará que el total de emisiones llegará a uno de sus máximos niveles de contaminación a causa de la alta demanda

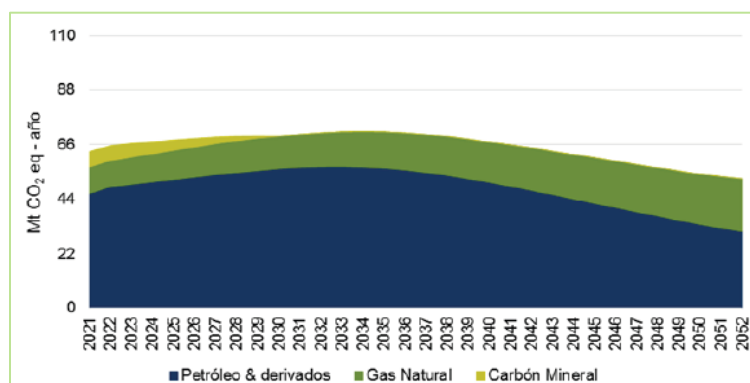
energética y el desarrollo económico. No obstante, se notará una ligera disminución en el uso del carbón, mientras que el petróleo seguirá siendo predominante y el gas continuará incrementando su participación, funcionando como combustible de transición.

Sobre 2052, en este Escenario de Innovación se tiene proyectada una disminución significativa en el total de emisiones, lo que reflejará una transformación gradual del sistema energético hacia el uso de fuentes con menos emisión de carbono. Cabe mencionar que el carbón mineral desaparecerá, por lo que sus emisiones serán nulas, mientras que el gas natural continuará ganando terreno, alcanzando un 40% de emisiones y el petróleo disminuirá sus emisiones al 60%.

Por lo tanto, se evidencia la importancia de las normas y políticas, junto con la implementación de tecnologías bajas en carbono —tales como la electrificación renovable, el hidrógeno verde y el almacenamiento energético—, en la transición energética. Esto permitirá el desplazamiento de los combustibles fósiles convencionales y, de esta manera, logrará avanzar hacia una matriz energética más limpia y resiliente, especialmente con la implementación de fuentes energéticas renovables.

### Figura 27

*Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo – Escenario Innovación (Mt CO<sub>2</sub>eq año)*



*Nota.* La figura presenta las emisiones que genera el uso de combustibles fósiles en el escenario de innovación proyectado hacia el 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

Así mismo, este escenario tiene proyectado un análisis en la producción total de energía, donde en la figura 28 se muestra una transición constante con cambios significativos a mediano y largo plazo. De cara al año 2032, se espera una reducción notoria en la producción de combustibles fósiles, reflejando los primeros efectos de una política energética en busca de sostenibilidad.

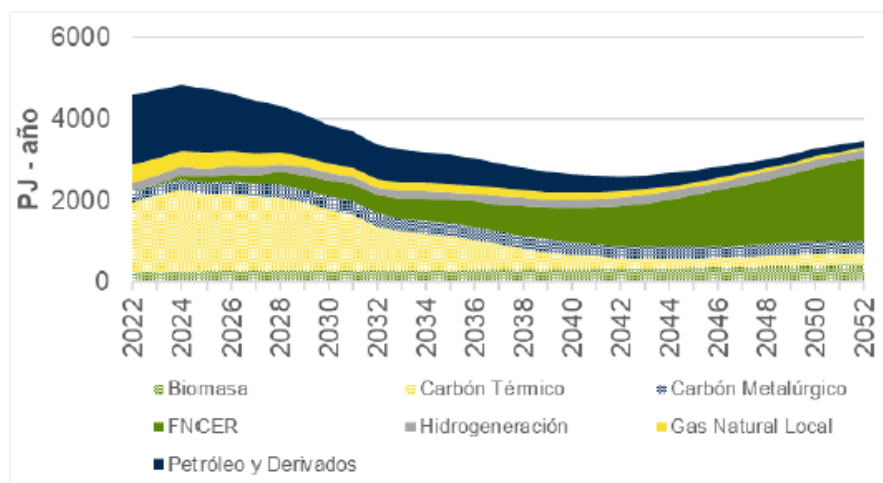
Fuentes energéticas como el petróleo y el carbón térmico inicia a disminuir considerablemente, pero mantienen su presencia de manera significativa dentro de la matriz, mientras que las FNCER mantienen un crecimiento constante y empiezan a ocupar una proporción importante en la oferta energética, igualmente se evidencia el crecimiento de la biomasa moderadamente junto una estable participación de la hidro generación.

Con vistas al 2052, la transición energética es mucho más evidente, logrando una producción energética total de 3.452 PJ, donde las energías renovables son el eje central de la matriz energética representando un 60% con 2.059 proveniente de las FNCER; más el 12% de biomasa con 424 PJ y 206 PJ la hidrogenación.

Mientras que los combustibles fósiles disminuyen su participación a tan sólo el 28%, donde entre el carbón metalúrgico y el carbón térmico representan el 16%, el petróleo y sus derivados el 4% y el gas 2%.

**Figura 28**

*Producción Total de Energía - Innovación (PJ-a)*



*Nota.* Esta figura muestra la generación total de energía proyectada en el escenario de actualización hacia las próximas tres décadas. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

En lo que concierne a la capacidad instalada por tecnología, presenta un crecimiento notorio en la producción eléctrica dado que en el año 2022 la capacidad era de 18.625 MW a una proyección total para el 2052 de 72.320 MW.

Para 2032, se proyecta que la capacidad instalada logre los 44.406 MW, con una instalación significativa de energía hidráulica y solar, notándose de manera clara la consolidación de energías renovables dentro de la matriz energética, sin embargo, la energía térmica mantiene su participación.

En la figura 29, rumbo al año 2052, se proyecta que la composición de fuentes energéticas tenga un cambio estructural, aumentando ampliamente la participación de las

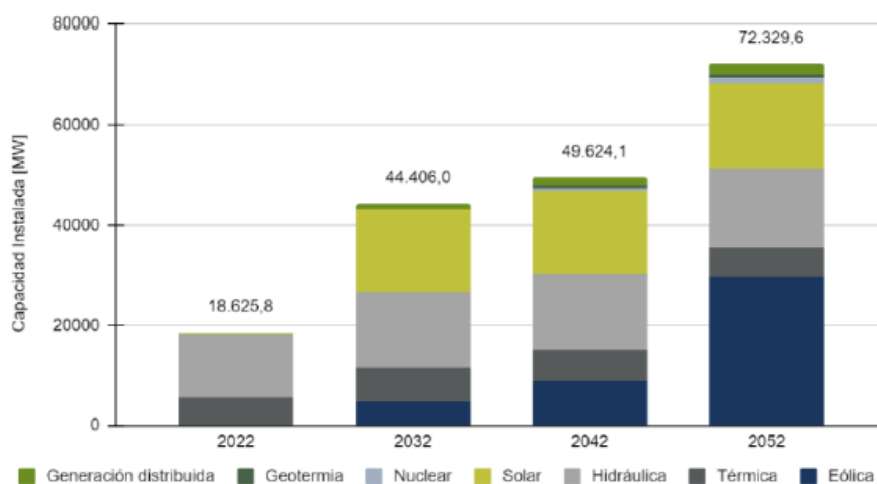
FNCER, donde la energía eólica es el soporte principal de abastecimiento energético con 20.633 MW instalados en proyectos costa adentro, igualmente, la energía solar también se destaca en segundo lugar por su crecimiento, logrando los 17.221 MW.

Cabe mencionar que pensando en una matriz energética diversificada se contempla nuevas tecnologías como la geotérmica el cual aporta 710 MW y la energía nuclear con 900 ME a partir de reactores modulares pequeños (SMR), con el fin de fortalecer el sistema energético y poder llegar a comunidades en zonas no interconectadas.

Así mismo, se refleja que la hidroelectricidad tiene un valor significativo como fuente de respaldo creciendo de manera proporcional a las FNCER, teniendo la capacidad de garantizar energía firme para mantener un equilibrio entre las fuentes renovables.

## Figura 29

*Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética - Escenario Innovación (MW)*



*Nota.* La figura presenta la capacidad instala que el PEN tiene proyectado en el escenario de Innovación hacia los años 2032 - 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 –*

2052 Tomo I. (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

Acercas de la matriz energética colombiana en este escenario de innovación presenta una evolución sustancial, con respecto a la distribución de las fuentes generadoras de electricidad, por ejemplo, en el año 2022, la hidroelectricidad dominaba la generación con 12.493,7 PJ/año, seguido de una participación importante de las fuentes térmicas con 5.656,2/año y por último una participación casi nula de las FNCER generando apenas un 475,9 PJ/año.

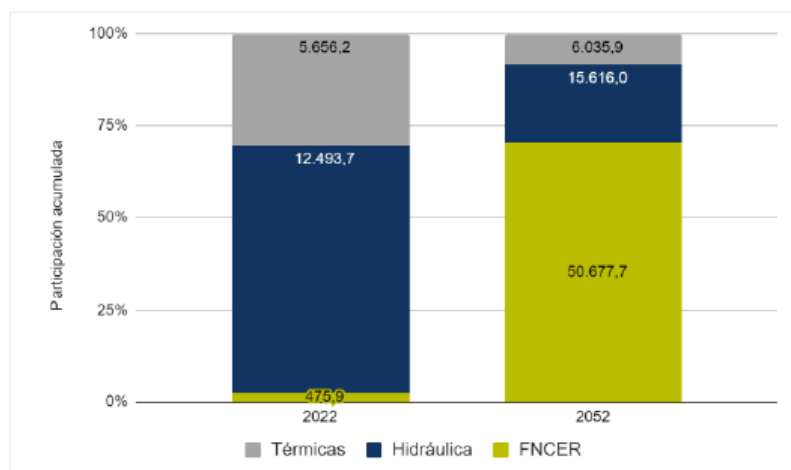
Ya para el año 2052 el cambio es trascendental con respecto a las FNCER alcanzando más del 70% de generación total proyectada, lo que equivale a 50.677 PJ/año, evidenciando de esta manera un avance radical hacia un sistema energético descarbonizado y sostenible.

La generación de energía hidráulica en conjunto con las FNCER representa el 91,7% del total de energía que se genera dentro de la matriz energética; la generación por fuentes térmicas se reduce de manera significativa representando apenas el 8,3%, 6,9 gas natural y 1,4 carbón.

Por ende, este escenario, el cual se puede ver en la figura 30, refleja una transición energética acelerada, con la puesta en marcha de energías diversificadas y limpias ganan su participación, al igual que se redefine la seguridad y sostenibilidad energética del país a largo plazo.

**Figura 30**

*Participación Acumulada por Tipo de Fuente Energética – Escenario Innovación (PJ-año)*



*Nota.* La figura presenta la proyección de participación de las Fuentes no Convencionales de Energía Renovable hacia el año 2052. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

En los ámbitos de cogeneración y autogeneración las FNCER juegan cada vez un papel más importante, razón por la cual, para el año 2052 se proyecta que la energía solar sea la energía que predomine con una capacidad instalada de la participación del 50%, es decir 1,5 GW del total proyectado (3 GW), el 23% lo representa el gas natural, el 13% hidroelectricidad y el 8% biomasa a partir de gabazo, creando así un sistema energético bajo en emisiones y más diversificado.

Referente al hidrógeno verde, se espera una expansión agilizada lo que lo posiciona como un vector clave en la transición energética. A mediano plazo se espera una producción total de 3 GW, creciendo su producción hasta 16,5 GW a largo plazo, sin embargo, cabe resaltar que para esto es necesario una capacidad de generación eléctrica de 32 GW principalmente de fuentes

renovables: 25,5 GW será de energía solar fotovoltaica, 5 GW de energía eólica de proyectos costa adentro y 1,5 GW de energía eólica costa afuera. De esta manera el hidrógeno verde almacena energía renovable para luego ser usada en pilas como combustible, en motores o turbinas al igual que para ser exportada esta energía a través de hidrógeno.

Este modelo tiene contemplado el uso de la biomasa residual de la industria agrícola como la cascarilla de arroz, el bagazo de la caña de azúcar y la cascara de banano, para ser usado en procesos de gasificación con almacenamiento y captura de carbono, con el fin de que la producción del hidrógeno verde sea sostenible y así alcanzar una producción local de 207 PJ para el año 2052 y poder exportar al año unos 153 PJ.

### ***Escenario 5 Transición Energética***

Este escenario para el año 2050 proyecta una transformación del sistema energético colombiano de manera acelerada, priorizando el uso de tecnologías maduras que garantizan la seguridad energética, además de apostar por nuevas tecnologías, sin dejar de lado la competitividad y protección del medio ambiente a través de modelos de mercado innovadores. También de da gran importancia al fortalecimiento del sistema junto a la adaptación con el fin de garantizar la calidad y continuidad del servicio energético.

Cabe mencionar también que debido a la expansión del uso eléctrico es necesario el fortalecimiento de las redes de transmisión al igual que añadir nuevos dispositivos con el fin de garantizar la calidad del servicio.

Este escenario es planteado como un túnel de decisiones con dos limitantes entre un mínimo que se basa en la innovación y un máximo que se guía por la Transición Energética Justa. Se proyecta un crecimiento en la oferta de energética de por lo menos un 1,7% al año, con

un aumento significativo de hasta un 48% en la participación de electricidad, al igual que se pronostica una reducción continua en el uso del carbón, petróleo y sus derivados, lo que apunta una inclinación por fuentes de energía limpias.

En el sector del transporte se hará una adopción de vehículos eléctricos manera total y acelerada en vehículos de pasajeros, de carga liviana, autobuses y motocicletas que están incluidos en el sistema de transporte masivo. Para el año 2052 estos vehículos representarán el 100% de las ventas, al igual se prevé una importante integración de vehículos pesados (volquetas, tractocamiones y camiones) con otras fuentes de energía: 23.000 y 40.000 vehículos a base de hidrógeno y de 32.000 a 49.000 a base de GNL.

Igualmente, en este escenario, varios usuarios de transporte privado migrarán hacia el transporte público, aumentando así la participación de vehículos públicos, pasando las ventas de 0,17% al 10%, por otra parte, los vehículos no motorizados representarán un 15% de ventas netas.

En el sector industrial hacia el año 2052 se espera un aumento de la electricidad en procesos térmicos de un 18% a un 39% - 44%, esto a causa de la reducción de un 24% en el uso del carbón y del 30% al 24% - 17% en el uso del gas natural. También se fomentará el uso de tecnologías de calentamiento electromagnético, infrarrojos, ultravioleta y ondas de radio para sustituir las fuentes térmicas convencionales. Se estima también que para el año 2025 alcanzará un 10% usando bioenergías y biomasa, teniendo en cuenta que de manera progresiva se irá reemplazando el carbón por biomasa residual en procesos térmicos.

Para el año 2052 también se implementará de manera progresiva el uso de hidrógeno entre un 5% y 7% del consumo de energía total, será utilizado directamente en equipos y los

equipos que operan con la mezcla de otros combustibles, presentando un crecimiento anual entre el 23,8% y el 4,4%.

En este escenario de transición energética se proyecta incorporar energía nuclear entre 1.200 y 1.800 MW, con el fin de poder respaldar la expansión de energía eólica en las costas adentro y afuera, además del carbón y gas natural. De acuerdo al Servicio Geológico Colombiano SGC tiene identificado potencial en fuentes geotérmicas y también se contempla ser aprovechadas.

En el sector residencial se tiene proyectado una adopción de estufas eléctricas, en el sector urbano de tipo inducción y en áreas rurales estufas de tipo convencional, junto al uso de paneles solares en zonas aisladas, lo que permitirá ampliar la cobertura a más comunidades energéticas, como resultado se reducirá el uso de leña del 30% a un 2%.

Esta implementación de nuevas tecnologías en el sector residencial permitirá reducir el consumo de gas natural del 27% al 22% en un escenario base y en un escenario ambicioso gasta un 10%, sin embargo, el GLP seguirá teniendo participación estimada de un 7% en zonas apartadas.

En el sector terciario se hará una adopción general de tecnologías mapas eficientes con sistemas de gestión energética, incrementando el uso eléctrico en procesos térmicos del 73% a un aproximado de 95,6% y en cuando al uso de gas natural tendrá una disminución es un escenario base del 22% a un aproximado de 4%, mientras que el GLP disminuirá su uso de un 4,6% a 1% o 0,4%.

Con respecto a la climatización e iluminación de este mismo sector continúa con las metas de implementar masivamente la tecnología LED. Así mismo, el sector terciario se destaca por incorporar soluciones a partir de fuentes renovables, como es el caso de los colectores solares

para la refrigeración y calefacción, junto a otros sistemas de distritos térmicos y climatización con lineamientos de sostenibilidad.

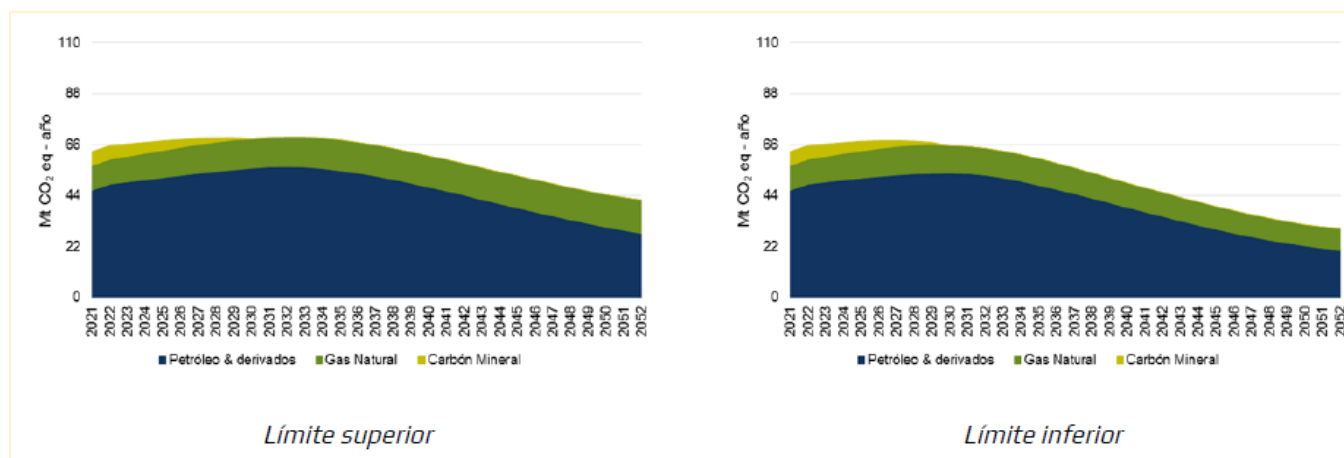
En este escenario de transformación energética en las edificaciones donde se destaca la implementación del etiquetado energético, impulsando el uso eficiente de energía sectores como el terciario, construcción y residencial, disminuyendo el consumo en el sector de construcción de un 30% a un 35% lo que fortalece la eficiencia energética.

Referente a las emisiones que se asocian al consumo final derivado de los energéticos para el año 2032 continúa en descenso de manera sostenida, de acuerdo al escenario proyectado en la figura 31 de límite superior e inferior, es evidente que el petróleo y sus derivados son los culpables del 66% y 69% del total de emisiones, luego está el gas natural con una participación del 31% al 34%. Estas proyecciones dejan claro que pese a los avances que se han logrado en la transición energética, aún perdura una dependencia alta al petróleo, por lo tanto, se desata la urgencia de acelerar la electrificación por medio de las FNCER para reemplazar progresivamente el uso de combustibles en sectores de principal foco de contaminación.

Ya hacia el año 2052 se tiene proyectado una reducción de emisiones de gases (GEI) de manera paulatina entre los años 2021 y 2052, en la figura 31, vemos 2 escenarios de límite superior e inferior, donde logra disminuir de manera constante la participación tanto de gas natural representando entre un 31% y 34% de participación total, el carbón si básicamente desaparecerá, lo cual refleja buenas estrategias para la descarbonización y el reemplazo de fuentes fósiles, sin embargo, las emisiones de parte del petróleo y sus derivados aún siguen predominando con una participación entre el 66% y 69%.

**Figura 31**

*Límite Superior e Inferior de Emisiones por Uso Energético en la Etapa Final de Consumo – Escenario Transición Energética (Mt CO<sub>2</sub>eq-año)*



*Nota.* La figura presenta las emisiones que genera el uso de combustibles fósiles en el escenario de Transición Energética proyectado hacia el 2052, con dos límites de generación. *Fuente.*

Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

En torno a la producción total energética, para el año 2032 las FNCER sostiene una participación destacada dentro del sistema energético nacional, convirtiéndose en la mayor producción energética en promedio de 3.100 PJ/año.

Estas fuentes no convencionales de energía renovable dentro de la matriz energética actúan como la columna vertebral, ya que sostienen la oferta de energía con miras a descarbonizar de manera progresiva y disminuyendo el uso de combustibles fósiles, continuando aún con la transición energética.

En previsión al año 2052, las FNCER reafirman su liderazgo en la matriz energética con una producción de 2.232 PJ en el límite inferior y en el límite superior de 2.385 PJ, representando más del 60% del total de la oferta energética, alcanzando así la madurez de estas fuentes tecnológicas. Por otra parte, la generación de combustibles fósiles continúa siendo baja, donde el carbón térmico aporta 292 JP, el carbón metalúrgico mantiene sus 292 JP y el gas natural junto al petróleo.

Reflejando un rotundo cambio en la dependencia de fuentes energéticas convencionales, logrando un avance hacia un sistema de energía bajo en carbono y con un sistema resiliente.

Como se observa en la figura 32, con respecto a la capacidad total instalada, la transición energética en Colombia tiene proyectado una profunda transformación impulsada especialmente por las FNCER.

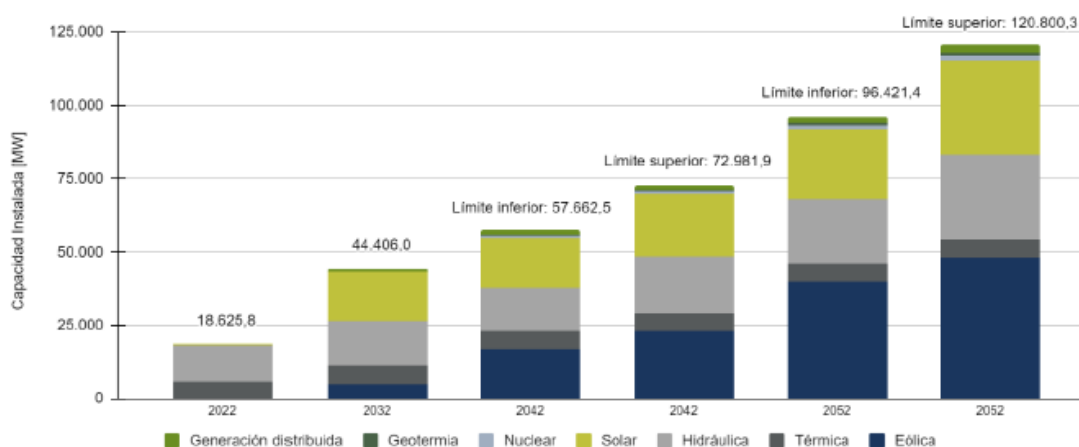
Para el año 2032 se estima una capacidad total instalada de 44.406 MW, con un crecimiento claro de la energía eólica, solar y generación distribuida siendo todas parte de las FNCER, sin embargo, estas no superan las fuentes convencionales, pero si están haciendo la labor de crear una tendencia ascendente hacia la descarbonización. La generación térmica proveniente de combustibles fósiles, se mantienen estable y presenta inicios de limitar su presencia en la matriz energética futura.

Con miras hacia el año 2052 tanto los escenarios con límite inferior y superior proyecta una capacidad instalada entre 96.421 MW y 120.800 MW la cual es conquistada por las energías renovables, especialmente por la energía eólica con una presencia del 40% al 42%, con una mayor incorporación de proyectos costa afuera que generan entre 10.038 y 18.000 MW. Con respecto a la energía solar se estima una expansión ponderada entre 24.094 MW y 32.000 MW.

Dentro de la matriz energética le sigue la hidroelectricidad que genera entre 210848 MW y los 29.017 MW, asimismo, se visualiza introducir la tecnología nuclear SMR con el fin de fortalecer la oferta energética libre de carbono con una capacidad de 1.200 MW a 1800 MW. En cambio, la energía térmica no aumenta su capacidad, pero sí hará uso de la tecnología CCUS que almacena y captura carbono, implementada con el fin de reducir la huella ambiental.

### Figura 32

*Capacidad Instalada a Mediano y Largo Plazo por Cada Fuente Energética – Escenario Transición Energética (MW)*



*Nota.* Esta figura muestra la generación total de energía proyectada en el escenario de Transición energética hacia las próximas tres décadas. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

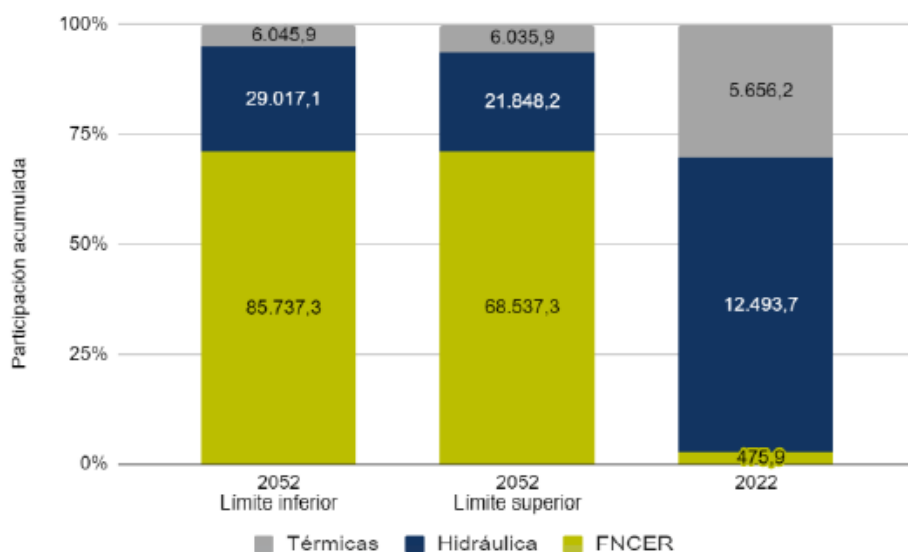
Como se observa en la figura 33, hacia el año 2052 las FNCER presentan un avance contundente tanto en el límite superior como en el inferior del 71% dentro de la matriz energética, este cambio estructural rompe con la composición que había en el 2022, donde las

FNCER apenas llegaban a los 475 PJ/año y la energía hidráulica era la predominante con un 67,1%.

Por lo tanto, esta transición drástica se debe a la implementación masiva de tecnologías de fuentes eólicas en costa adentro como afuera y solares, al igual que la inserción gradual de energía nuclear, geotérmica y distribuida. En este escenario la energía térmica alcanza una participación apenas del 5% al 6,3%, evidenciando de esta manera el desplazamiento hacia tecnología limpias en pro de los objetivos de descarbonización del sistema energético del país.

### Figura 33

*Participación Acumulada por Tipo de Fuente Energética – Transición Energética (PJ-año)*



*Nota.* Esta figura muestra la generación total de energía proyectada en el escenario de transición energética hacia las próximas tres décadas. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

## **Ruta del Hidrógeno Verde y Metas Trazadas**

En el Acuerdo de París que se firmó en el año 2015, busca limitar el aumento de la temperatura global con un máximo de 1,5 °C, razón por la cual Colombia asumió el compromiso de disminuir sus emisiones contaminantes al menos en un 51 % y como meta alcanzar la neutralidad de carbono sobre los años del 2050.

Dado esto se incluyó la actualización del Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del sector minero energético y la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia donde se tiene en cuenta diferentes mecanismos, como sistemas de cupos transables de emisión, para fomentar el uso de energías más sostenibles y la transición hacia la producción de hidrógeno de bajas emisiones.

Colombia tiene buenas fuentes de recursos naturales que facilitan competir en el futuro en el mercado del hidrógeno, ahora lo otro necesario son las inversiones de ámbito nacional e internacional para el desarrollo de proyectos comerciales (MINENERGÍA, 2021a).

La implementación del hidrógeno es una herramienta clave para cumplir con los objetivos energéticos sobre todo en sectores difíciles de electrificar, posicionando a Colombia en un mercado global de hidrógeno de bajas emisiones.

La evaluación del coste nivelado del hidrógeno verde para el período 2020-2050 está basado en el análisis del recurso eólico y solar de ocho regiones climáticas de Colombia, destacándose la región del Caribe por su abundancia en vientos permitiéndole obtener costos de producción energética e hidrógeno verde muy competitivos.

Además, el país cuenta con suficiente recurso solar para satisfacer la demanda interna en muchas regiones a partir de 2030.

Por eso a partir de este año el hidrógeno verde podría llegar a costar 1,7 USD/kg H<sub>2</sub>, el cual se alinea con objetivos trazados por países como Australia o Chile en sus estrategias de hidrógeno aun cuando sus políticas económicas son claramente diferentes a las de Colombia, estos países cuentan con infraestructuras energéticas, inversión pública y políticas distintas, en el caso de Chile se destaca por su estabilidad regulatoria lo que le permite atraer grandes inversores (Ministerio de Energía, 2024).

Australia por su parte, cuenta con un mercado energético más diversificado gracias a la gran capacidad financiera que posee (Iberdrola, 2022).

La producción de hidrógeno verde está proyectada con un gran crecimiento debido a la expansión que se viene ganando mediante las plantas solares, Según el Ministerio de Minas y Energía (2021a) en el año 2030 se espera instalar un bloque de electrolizadores con una capacidad de 500 MW, para el año 2040 quedará posicionado como la alternativa más competitiva en todo el país y hacia el año 2052 llegará a 4.4 GW mediante un aumento gradual, siendo esta una alternativa muy competente a nivel nacional.

No obstante, la reducción de costos dependerá directamente del financiamiento, de la infraestructura eléctrica y de la estabilidad normativa, además, para que estos objetivos sean viables es importante eliminar brechas a nivel estructural, caso contrario a las economías de Chile y Australia.

En la imagen 34 se observa la hoja de ruta que emitió el gobierno, donde se establece los pasos a seguir para implementar el hidrogeno como fuente de energía estratégica en el país. Esta ruta está dividida en cinco pilares donde busca el desarrollo económico, la sostenibilidad ambiental y la equidad social. Igualmente se proyecta el cambio tecnológico y la transformación

a nivel estructural del país en temas económicos, energéticos y sociales, buscando siempre una transición energética justa, sostenible y con visión futurista (MINENERGÍA, 2021a).

### Figura 34

#### *Hoja de Ruta Nacional para el Desarrollo del Hidrógeno en Colombia*



*Nota.* Esta figura muestra los pasos a seguir durante el desarrollo y expansión del hidrógeno verde en Colombia. *Fuente.* Tomado de. *Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia.* (2021), MINENERGÍA, [https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia\\_2810.pdf](https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia_2810.pdf).

El Ministerio de Minas y Energía (2021a) Colombia tiene estructurados los siguientes principios con respecto a la ruta del hidrógeno:

#### ***El Hidrógeno como una Pieza Clave para Alcanzar la Neutralidad de Carbono en Colombia***

Colombia se compromete a alcanzar la neutralidad de carbono para 2050, iniciando este proceso en la próxima década. El hidrógeno de bajas emisiones será clave en esta transición hacia una economía más limpia, utilizándose en sectores donde la electrificación no sea viable o donde otros combustibles sean menos adecuados.

El hidrógeno verde también promoverá una mayor capacidad de energía renovable, impulsando una economía más sostenible y facilitando la gestión del sistema energético.

***Desarrollar una Cadena de Valor para el Hidrógeno Será el Camino Clave para una Economía que Busca la Exportación Energética Baja en Emisiones de Carbono***

Colombia tienen un potencial alto para posicionarse de manera competitiva en el mercado internacional del hidrógeno, gracias a la ubicación estratégica y a la riqueza de recursos naturales renovables. De esta manera, el gobierno colombiano busca promover a nivel local el hidrógeno como alternativa para el fortalecimiento de la capacidad de producción nacional y así mismo, disminuir la exportación de combustibles fósiles.

***El Hidrógeno es una de las Claves para Alcanzar una Transición Energética Equitativa***

El hidrógeno de bajas emisiones ofrece una transición justa para preservar el empleo y crear un nuevo tejido industrial en Colombia. Su desarrollo en zonas mineras y petroleras aprovecha infraestructuras existentes, mientras que el hidrógeno verde impulsa el desarrollo local en regiones con potencial renovable, promoviendo un crecimiento económico equilibrado.

***El Gobierno Nacional se ha Comprometido en Promover el Uso del Hidrógeno de Bajas Emisiones***

El Gobierno está comprometido con el despliegue del hidrógeno de bajas emisiones como un motor para el desarrollo económico, social y medioambiental. Por ende, su continuo trabajo en la creación de marcos regulatorios con incentivos con el fin de incentivar inicialmente la creación de proyectos.

Esto incluye el desarrollo de normativas claras y estables, estrategias de incentivos y planeamiento integrado de infraestructuras, esperando que el sector privado, la academia y la sociedad civil participen activamente.

### ***El Hidrógeno como Medio de Integración y Herramienta de Desarrollo Participativo***

El desarrollo de la economía del hidrógeno centrará a las comunidades desde el principio, considerando sus necesidades y capacidades. El Gobierno y las autoridades locales lanzarán un plan para mostrar cómo el hidrógeno puede transformar económicamente las comunidades, generando riqueza y empleo de manera equilibrada, mientras capacitan al personal y protegen los recursos naturales y el medio ambiente. Las comunidades participarán en la planificación territorial y económica, y los promotores se involucrarán para definir las mejores prácticas para el desarrollo económico local y la creación compartida de valor.

Con respecto a los objetivos nacionales para el hidrógeno de bajas emisiones en Colombia, se destaca las metas en producción, demanda y reducción de CO<sub>2</sub>, en la figura 35 se observa que para 2030 se plantea una capacidad instalada de electrólisis de hidrógeno verde de entre 1 y 3 GW a un costo de 1,7 USD/kg y una producción de 50 kilotoneladas de hidrógeno azul.

En cuanto a demanda, se espera contar con 1.500-2.000 vehículos ligeros y 1.000-1.500 vehículos pesados de pila de combustible, además de 50-100 hidrogeneras públicas. En el sector industrial, la meta es que el 40% del hidrógeno sea verde o azul.

Las inversiones proyectadas alcanzan entre 2.500 y 5.500 millones de USD, se esperan de 7.000 a 15.000 empleos y una reducción de 2,5-3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en la década, con una meta anual de 0,7 millones de toneladas menos para 2030.

**Figura 35**

*Objetivos Establecidos a Nivel Nacional para el Hidrógeno de Bajas Emisiones para el Año 2030*



*Nota.* Esta figura muestra los pasos a seguir durante el desarrollo y expansión del hidrógeno verde en Colombia. *Fuente.* Tomado de. *Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia.* (2021), MINENERGÍA, [https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia\\_2810.pdf](https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia_2810.pdf).

En la figura 36, se ve estructurado en dos periodos la estrategia nacional que tiene Colombia a largo plazo referente al despliegue del hidrógeno, donde el hidrógeno verde es el eje central del futuro energético limpio del país, donde busca alinear los compromisos que se tienen a nivel climático, junto al objetivo de ser el proveedor a nivel global de energía limpia.

En el periodo 2020-2030 se prepara el terreno para el hidrógeno verde, aquí la estrategia busca fomentar la construcción de capacidad en electrólisis con base tecnológica de hidrógeno verde, el desarrollo de políticas para que impulsen el inicio del hidrógeno verde de manera

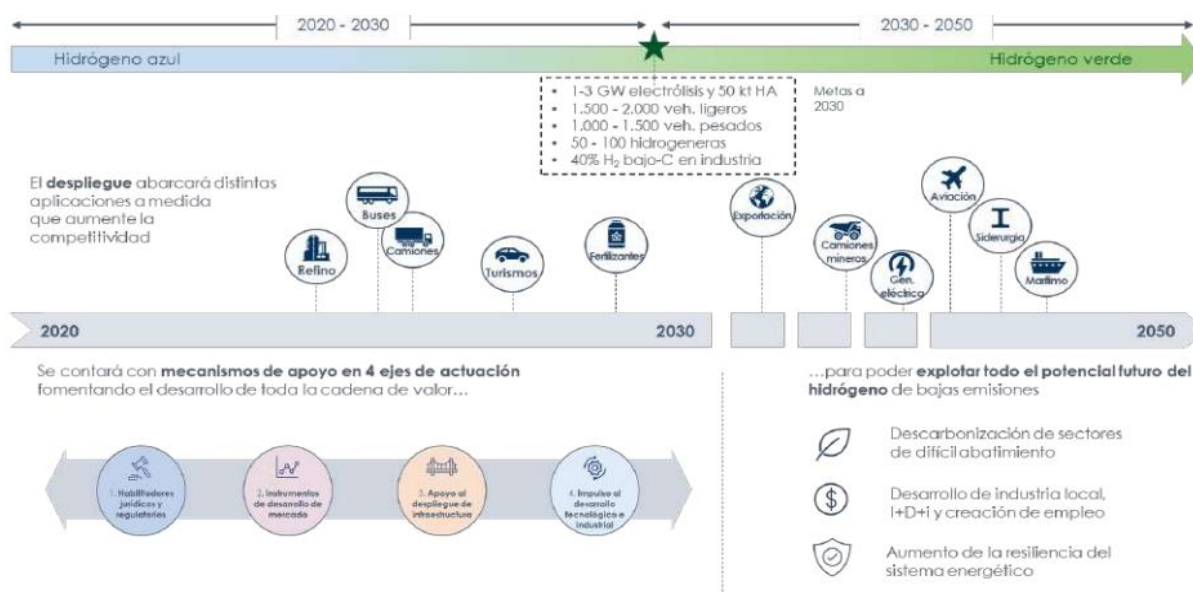
gradual y así mismo, el incentivo y colaboración del sector público y privado para invertir en proyectos piloto de hidrógeno verde, sobre todo en territorios con potencial eólico y solar.

Ya en el periodo 2030-2050 el hidrógeno verde ya es una opción competitiva donde los sectores estratégicos ya lo usan de manera masiva, logrando así un cambio estructural en el sistema energético del país, ya que el hidrógeno tiene gran enfoque en: descarbonizar de manera profunda aquellos sectores donde es difícil la electrificación tales como la siderurgia, la aviación, el transporte marítimo y la generación eléctrica.

Otro enfoque es la exportación al mercado internacional aprovechando las ventajas que se tienen de generación energética de fuentes renovables no convencionales; así mismo, el fortalecimiento de I+D+i (Investigación, Desarrollo tecnológico – innovación), junto a la atracción de inversores extranjeros y por último, la resiliencia energética, diversificando la matriz energética con el hidrógeno verde que es flexible, fuente limpia y cuenta con almacenamiento energético a largo plazo.

### Figura 36

#### *Estrategia Nacional del Hidrógeno de Bajas Emisiones en Colombia a 2050*



*Nota.* Esta figura muestra la ruta que se tiene planeado seguir para explotar el potencial del hidrógeno verde en Colombia, como una alternativa más de la transición energética. *Fuente.*

Tomado de. *Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia.* (2021), MINENERGÍA,

<https://www.minenergia.gov.co/static/ruta->

[hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia\\_2810.pdf](https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia_2810.pdf).

En lo que concierne a las emisiones con la implementación del hidrógeno en Colombia, se proyecta como resultado la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en sectores clase como el transporte, la industria y la generación eléctrica. Para el año 2030 se estima una reducción de 700 ktCO<sub>2</sub>/año, donde el sector industrial es el principal responsable de esta reducción debido al reemplazo de fuentes fósiles por hidrógeno, sin embargo, el sector de la generación eléctrica y el transporte aún generan emisiones que impactan.

Hacia el año 2050, se proyecta una reducción total de 13.200 ktCO<sub>2</sub>/año, lo que equivale a la disminución de un 14% de las emisiones Nacionales tanto energéticas como industriales en Colombia en el año 2019. El sector del transporte, es el líder evitando cerca del 70% de emisiones, la generación eléctrica también aporta en la disminución de emisiones debido al uso de hidrógeno verde en lugar de combustibles fósiles (MINENERGÍA, 2021a).

Es evidente que el mayor impacto está proyectado en el sector transporte, donde las opciones para sustituir el uso de combustibles fósiles son limitadas, por ende, esta transformación, además de apoyar los compromisos climáticos que tiene Colombia, fortalece la resiliencia energética.

Cabe resaltar que el hidrógeno verde al ser una alternativa de bajas emisiones, contribuye directamente a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (Naciones Unidas, 2016), tales como:

**Objetivo 7.** Energía asequible y no contaminante

**Objetivo 8.** Trabajo decente y crecimiento económico

**Objetivo 9.** Industria, innovación e infraestructura

**Objetivo 11.** Ciudades y comunidades sostenibles

**Objetivo 12.** Producción y consumo responsable

**Objetivo 13.** Acción por el clima

**Objetivo 17.** Alianzas para lograr objetivos

La Ley 2099 de Transición Energética, promulgada en julio de 2021, es fundamental porque establece un marco fiscal favorable para incentivar los proyectos de hidrógeno verde, al catalogarlos formalmente como Fuentes No Convencionales de Energía. Esta iniciativa pretende atraer inversiones y tecnología internacional para contribuir a la recuperación económica (Barney, 2023).

El marco fiscal favorable se materializa a través de la aplicación de los instrumentos económicos ya definidos en la Ley 1715 de 2014, los cuales serán extendidos a los proyectos de hidrógeno por un periodo de 30 años (Barney, 2023). Estos instrumentos incluyen:

***Deducción especial del Impuesto de Renta.*** La renta líquida puede ser deducida hasta el 50% de la inversión en maquinaria y equipos.

***Exclusión del Impuesto de Valor Agregado (IVA).*** Para la importación y adquisición nacional de maquinaria y equipos necesarios para la preinversión e inversión en la producción de hidrógeno.

***Exención del gravamen arancelario.*** Para la importación de maquinaria y equipos no producidos en el país.

## **Políticas, Avances y Brechas en la Integración de ERNC**

Colombia ha venido extendiendo el marco institucional y normativo desde mediados de la década del 2010, con el fin de diversificar la matriz energética para disminuir la dependencia al uso de fuentes convencionales como la hidroelectricidad y los combustibles fósiles. Este cambio ha sido orientado por compromisos internacionales, al igual que la necesidad interna de lograr una seguridad energética ante cualquier eventualidad de tipo climática o externa, un ejemplo claro se encuentra el fenómeno del niño que históricamente viene afectando la producción de energía de las hidroeléctricas del país, afectando el servicio a muchas familias en el país (UPME, 2020b).

La expedición de la ley 1715 del año 2014 definitivamente fue un hito clave para este proceso de la integración de fuentes no convencionales de energía renovable a todo el sistema energético del país, donde se reconoce su nivel de estrategia para tener una matriz energética más diversificada y sostenible (Congreso de la República de Colombia, 2014). Razón por la cual el país luego de esta ley ha continuado el desarrollo de más normativas y políticas públicas con lineamientos técnicos que contribuyen hacia una transición energética justa, donde se destaca las directrices emitidas por el Ministerio de Minas y Energía que dan enfoque a la implementación de las FNCER (MinEnergía, 2021b).

Por ende, esta formulación de políticas, mecanismos y leyes que incentivan han sido determinantes para integrar las FNCER en la matriz energética Colombiana, sobre todo la energía solar y la energía solar fotovoltaica, sin embargo, aún existen ciertas brechas de tipo social, estructural e institucional que han impedido la incorporación de estas nuevas fuentes tecnologías de una manera más acelerada y equitativa, por lo tanto, en esta sección se hará una

revisión al marco normativo a partir del 2014, los principales hitos de desarrollo y así mismo los hitos y barreras para la promoción de las FNCER.

### **Marco Normativo de las Energías Renovables a Partir del año 2014**

Colombia ha fortalecido progresivamente su marco regulatorio para las FNCER.

La legislación inicial sobre el sector energético se limitaba a instrumentos como la Ley 697 de 2001, que aunque anterior al auge FNCER, establecía definiciones y pautas para las entidades encargadas del sector.

El hito fundamental para la promoción de las FNCER fue la Ley 1715 de 2014, la cual marcó el inicio de la implementación de políticas y regulaciones destinadas a fomentar la inversión. Esta ley estableció programas de apoyo financiero e incentivos fiscales para proyectos de energía renovable.

A partir de esta ley, el marco normativo ha venido acogiendo y complementando su cuerpo legal. Se han promulgado decretos y resoluciones que buscan mejorar los incentivos y simplificar los procesos. Un ejemplo clave de directriz estratégica es el CONPES 4075 de 2022, que, si bien no constituye una resolución ni un decreto, sí incita a fortalecer las FNCER para el cumplimiento de la transición energética. Dicho documento busca reducir la contaminación por emisiones de gases de efecto invernadero en un 51% para el año 2030 y alcanzar un 0% de emisiones netas para el 2050.

### **Estrategias que han Fomentado la Adopción de ERNC**

Estas estrategias han contribuido significativamente al crecimiento del sector de energías renovables en Colombia, posicionando al país como un líder en la adopción de tecnologías limpias en la región.

### ***Marco Regulatorio y Políticas Públicas***

**Ley 1715 de 2014.** Esta ley tiene como propósito integrar las energías renovables no convencionales en el sistema energético nacional. Establece incentivos fiscales y regula aspectos técnicos y operativos para la generación y uso de estas energías.

**Plan Nacional de Desarrollo.** Incluye metas específicas para el aumento de la capacidad instalada de energías renovables y promueve la diversificación de la matriz energética.

**Resoluciones de la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas).** La CREG ha establecido múltiples resoluciones para promover la inclusión de energías renovables en la red eléctrica, abarcando la regulación de la autogeneración y la generación distribuida.

### ***Incentivos Fiscales y Financieros***

**Exenciones de Impuestos.** Los proyectos de ERNC pueden beneficiarse de exenciones en el IVA, aranceles de importación, y deducciones en el impuesto sobre la renta.

**Créditos y Financiación.** Bancóldex y otras entidades financieras ofrecen líneas de crédito específicas para proyectos de energías renovables, facilitando el acceso a financiamiento para desarrolladores.

### ***Subastas de Energía Renovable***

**Subastas de Largo Plazo.** En 2019, Colombia realizó su primera subasta de energías renovables, adjudicando contratos a largo plazo para proyectos solares y eólicos. Esta subasta constituyó un paso importante en la diversificación de la matriz energética del país.

### ***Desarrollo de Infraestructura***

**Redes Inteligentes (Smart Grids).** Colombia ha comenzado a implementar tecnologías de redes inteligentes para mejorar la gestión y distribución de la energía generada por fuentes renovables.

**Proyectos de Almacenamiento.** Se están promoviendo proyectos piloto de almacenamiento de energía para mejorar la estabilidad y la gestión del suministro de energía renovable.

### *Programas de Investigación y Desarrollo*

**Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE).** Este fondo financia proyectos de investigación, desarrollo e implementación de tecnologías de energías renovables y eficiencia energética.

**Colaboraciones Académicas y Empresariales.** Se promueven alianzas entre universidades, centros de investigación y el sector privado para el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones innovadoras en el campo de las energías renovables.

### *Integración Regional e Internacional*

**Acuerdos Internacionales.** Participación en acuerdos y convenios internacionales que promuevan la cooperación en el ámbito de las energías renovables y el desarrollo sostenible.

**Alianzas Regionales.** Colaboración con países vecinos para el desarrollo de proyectos conjuntos y el intercambio de conocimientos y tecnologías

No obstante, la puesta en marcha de la Ley 1715 de 2014 presentó dificultades debido a la ausencia de reglamentación detallada. Esta situación ha motivado la emisión continua de

nuevos decretos y normas para complementar y detallar la ley. Estos instrumentos regulatorios se describirán en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Marco normativo de Uso e Implementación de Energías Renovables no Convencionales.*

Normativa	Descripción
Ley 1715 de 2014 (Congreso de Colombia).	Tiene como propósito impulsar la adopción y desarrollo de Fuentes de energía no Convencionales. también establece la regulación para integrar estas energías al sistema energético nacional y ofrece diversos incentivos fiscales como la disminución de la renta, exentos de IVA y aranceles.
Ley 1717 de 2014	Incentivos tributarios para la inversión en energías renovables no convencionales.
Decreto 1076 de 2014	Reglamentación del Sector Minas y Energía la cual establece el marco general de las políticas energéticas, y aunque la legislación sobre FNCER era escasa hasta hace aproximadamente diez años, su posterior desarrollo ha buscado la promoción de estas fuentes.
Decreto 2469 de 2014	Establece las normas en cuanto a las políticas energéticas para la entrega de excedentes de autogeneración.
Decreto 2492 de 2014	Se dictan medidas para el desarrollo de mecanismos como respuesta a la demanda energética.
Decreto 2143 de 2015	Se incorporan las definiciones de los lineamientos necesarios para implementar los incentivos contemplados en la Ley 1715, con el objetivo de fomentar el desarrollo y la utilización de Fuentes No Convencionales de Energía.
Decreto 1623 de 2015:  Expansión de la	

cobertura del servicio de energía eléctrica.	Este decreto establece directrices para transformar la planificación y los modelos de negocio utilizados con el fin de ampliar la cobertura del servicio de energía eléctrica.
Resolución 227 de 2015 (Comisión de Regulación de Energía y Gas-CREG).	Define los pasos para calcular la cantidad de energía que se puede aportar a las plantas de energía solar fotovoltaica.
Resolución 1986 de 2015	Dicta toda la normativa para la puesta en marcha del Decreto 1076 con todo lo concerniente a las licencias ambientales que se otorgan a los proyectos energéticos.
Resolución 0281 de 2015	Limita la máxima potencia que se puede autogenerar a gran escala dentro del Sistema Interconectado Nacional.
Resolución 1312 de 2016	Define los términos de referencia necesarios para llevar a cabo los Estudios de Impacto Ambiental requeridos para otorgar licencias en proyectos que utilizan fuentes de energías renovables.
Resolución 1283 de 2016	Establece las normas y requisitos a tener en cuenta para otorgar la certificación ambiental a los nuevos inversionistas de proyectos energéticos de energías renovables no convencionales.
Decreto 348 de 2017 (MME).	Fija las directrices de política pública para la gestión eficiente de la energía y la entrega de excedentes de autogeneración en pequeña escala.
Ley 1844 de 2017. Adopción del acuerdo de París.	Colombia se unió al Acuerdo de París, comprometiéndose a combatir el cambio climático a nivel global. Esto afecta la producción y utilización de combustibles fósiles, principales emisores de gases de efecto invernadero, y abre puertas a mejoras en la eficiencia energética (UPME, 2021b).

Decreto 884 de 2017. Implementación del Plan Nacional de Electrificación Rural.	<p>Dicta los siguientes principios más relevantes a tener en cuenta dentro del Plan Nacional de Electrificación Rural:</p> <p>Ampliación de la cobertura eléctrica.</p> <p>Prioriza el empleo de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) en la implementación de soluciones tecnológicas para áreas rurales.</p> <p>Impulsar la capacidad de apoyo técnico y comunitario para mantener y conservar las instalaciones.</p> <p>Formación para el gasto y uso eficiente energético con el fin de asegurar la sostenibilidad.</p>
Decreto 1543 de 2017	Se establece el marco regulatorio que gobierna el Fondo de Energías No Convencionales y la Gestión Eficiente de la Energía.
Ley 1931 de 2018 (Congreso de Colombia).	Esta ley dicta las normas que gestionan el cambio climático, iniciando por la mitigación de la emisión de gases efecto invernadero, lo cual reduce significativamente el riesgo de los impactos negativos tanto de los ecosistemas como de personas, todo esto con el fin de fomentar una transición hacia una economía más sostenible, competitiva y baja en emisiones de carbono.
Decreto 348 de 2018	Regulación de las subastan que tienen contratos a largo plazo para la ejecución de proyectos a partir de fuentes energéticas renovables no convencionales.
Resolución 40755 de 2018	Criterios técnicos y procedimientos para la conexión de generadores de energía renovable no convencional al Sistema Interconectado Nacional.
Decreto 1500 de 2018	Normativa del régimen que gestiona la calidad del aire.
	Establece que los proyectos de generación que utilicen fuentes de energía solar, eólica, mareomotriz, geotérmica o biomasa

Decreto 2462 de 2018	con una capacidad menor a diez megavatios están exentos del Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA).
Resolución 40791 de 2018 (MME)	Se dicta la metodología de las plantas fotovoltaicas para determinar la energía firme.
Resolución 030-2018 CREG.	Coordina la autogeneración de energía, tanto en pequeña como en gran escala, en conjunto con el Sistema Interconectado Nacional (SIN).
Resolución 038-2018 CREG.	Define las normas para la autogeneración en las Zonas No Interconectadas (ZNI).
Decreto 570 de 2018	El presente decreto anexa la reglamentación para el sector administrativo de minas y energía 1073 de 2015, donde dicta las reglas que deben cumplir los proyectos de energía eléctrica en contratos a largo plazo.
Decreto 0570 de 2018	Instituye a largo plazo subastas para las energías renovables. Esta medida tiene como objetivo principal incentivar y facilitar la inversión en proyectos de energías renovables no convencionales al proporcionar un flujo de caja constante a lo largo del tiempo.
CONPES 3919 (2018): Política nacional de edificaciones sostenibles	Esta iniciativa impulsa la construcción de edificaciones sostenibles al ofrecer incentivos para mejorar la eficiencia energética y reducir la demanda de energía en estos proyectos.
CONPES 3934 (2018): Política de crecimiento verde.	Cuenta con directrices que se enfocan hacia la sostenibilidad del crecimiento económico, teniendo como meta una mayor competitividad y productividad económica de Colombia para el año 2030.

<p>Resolución 4-0072 de 2018</p> <p>y</p> <p>Resolución 4-0483 de 2019</p> <p>(Ministerio Minas y Energía) Mecanismos para la implementación de las</p> <p>Redes Inteligentes de Energía.</p>	<p>Estas regulaciones establecen pautas dirigidas a la introducción de redes inteligentes y al desarrollo de instrumentos de mercado que faciliten la expansión de esta infraestructura. Además, tiene como objetivo hacer efectivo los medidores inteligentes avanzados con el fin de que al menos un 75% de usuarios se beneficien del Sistema Interconectado Nacional para el año 2030.</p>
<p>Resolución 40591 de 2019</p> <p>(MME).</p>	<p>Convoca una subasta a largo plazo para contratar proyectos energéticos, estableciendo los parámetros necesarios para su desarrollo.</p>
<p>Ley 1955 de 2019</p> <p>Pacto por Colombia, pacto por la equidad</p>	<p>Esta ley tiene como finalidad optimizar y mejorar los incentivos tributarios expedidos en la ley 1715 de 2014 y además establece que entre un 8 y un 10% de compras energéticas deben ser de fuentes de energía no convencionales</p>
<p>Ley 1964 de 2019</p>	<p>El propósito principal de esta ley es establecer incentivos para fomentar la adopción de vehículos eléctricos y de cero emisiones, fomentando la disminución de emisiones de gases efecto invernadero a través de la implementación de movilidad sostenible.</p>
	<p>Dicta las medidas necesarias para la transición energética, permitiendo la reactivación de la economía por medio de la activación del mercado energético en el país.</p>

Ley 2099 de 2021 (Ley de Transición Energética).	Además, se introdujeron mejoras adicionales a los incentivos fiscales que contempla la Ley 1715, y se ampliaron los beneficios para abarcar nuevas tecnologías, como el hidrógeno de emisiones bajas, la energía geotermia y el almacenamiento inteligente.
Resolución CREG 143 de 2021	Establece reglas comerciales del Mercado energético Mayorista (MEM) dentro del Sistema Interconectado Nacional, que forman parte del Reglamento de Operación.
CONPES 4075 2022. Política de Transición Energética.	Donde elabora un plan a largo plazo que guíe la continua promoción de una transición equitativa, organizada y centrada en las necesidades de las personas. Se enfoca en la reducción de emisiones, fomento del hidrógeno verde, inversión privada nacional e internacional (Concejo Nacional de Política Económica y Social, 2022)

*Nota.* La tabla presenta la normatividad que impulsa la implementación de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en Colombia. *Fuente.* Adaptado de. *Contribución de las Energías Renovables no Convencionales al sistema de Gestión Integral de Energía en Colombia.* (2024), Ospina, P. <https://sie.car.gov.co/items/a6d774d3-027d-4543-b46a-3ea58ea1380d/full>.

## **Brechas y Limitaciones Durante la Integración de las ERNC**

Es innegable que Colombia ha avanzado significativamente en la implementación de normatividad que favorece el desarrollo y la integración de las FNCER. No obstante, persisten brechas evidentes entre los objetivos trazados (especialmente las metas de descarbonización a 2030 y 2050) y el avance actual. Estas brechas se manifiestan a través de diversas barreras, no solo en el ámbito regulatorio, sino también en el técnico y social. Se requieren ajustes que permitan una mayor participación de la comunidad (a través de procesos efectivos de consulta previa) y una infraestructura más robusta (particularmente en almacenamiento y redes) para lograr cumplir con las metas pactadas.

### ***Brecha 1: Brechas en la Capacidad Instalada vs. Metas Proyectadas.***

#### **Capacidad Instalada Actual de Energías Renovables no Convencionales (ERNC).**

En la sexta edición de Boletín NODO, La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2024b) reportó que se añadieron 261.35 MW al sistema eléctrico nacional, generados a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), principalmente provenientes de parques solares y pequeñas centrales hidroeléctricas. Adicionalmente, se registran 22 proyectos en fase de pruebas que suman 1,228.55 MW. Esta capacidad representa una generación diaria de 3.52 GWh de energía renovable, distribuida entre eólica y solar, lo que equivale a aproximadamente el 2% de la producción diaria de energía a nivel nacional.

**Meta Proyectada.** Teniendo en cuenta que el Gobierno actual le apuesta a esta gran meta de disminuir la dependencia actual de los combustibles fósiles a través de la incorporación de FNCER, aumentando así la eficiencia energética, se inició con la meta de añadir 2.000 MW de capacidad que opera a partir de FNCER (Plan Nacional de Desarrollo - PND, 2023). Y según

Corficolombiana para el año 2050 se espera que la capacidad eléctrica total en el país alcance los 42.709 megavatios (MW), donde el 43,2% correspondería a FNCER, lo que equivale aproximadamente a 18.448 MW (Catalina et al., 2023).

**Actualidad.** A 20 de diciembre del año 2024 se cerró año con 1.881 MW de energía la mayor parte solar, procedente de 71 proyectos a grande y mediana escala, esto equivale al gasto energético de la ciudad de Medellín junto al área Metropolitana (SER Colombia, 2024). Por ende, se puede decir que al día de hoy estamos atrasados y para alcanzar la meta de los 18.448 MW al año 2050, es necesario aumentar la capacidad instalada a 14.848 MW, representando un crecimiento un poco desafiante considerando los términos de desarrollo, inversión, infraestructura y políticas que favorezcan la implementación de proyectos de energías renovable son convencionales en Colombia.

### **Causas de la Brecha**

***Retrasos en la Interconexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN).*** El Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2024) señala que, si bien Colombia posee un potencial considerable para la implementación de FNCER, en el año 2022 solo el 2.8% de la capacidad instalada total del país provenía de estas fuentes limpias. Esta mínima participación, a pesar del alto potencial, evidencia los desafíos que enfrenta el país al momento de integrar estas nuevas fuentes al Sistema Interconectado Nacional.

***Demoras en la Expedición de Licencias Ambientales.*** La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) establece plazos definidos para la gestión de trámites ambientales: 90 días hábiles para responder a solicitudes de licencia de nuevos proyectos y 60 días para modificaciones de proyectos ya existentes. Sin embargo, el proceso de expedición suele enfrentar desafíos y retrasos debido a múltiples factores, tales como la naturaleza de proyectos

con gran impacto ambiental, la presentación de información documental incompleta, y la complejidad de la participación ciudadana y las consultas previas con comunidades locales o grupos étnicos (ANLA, s.f.).

***Limitaciones en el Almacenamiento de Energía.*** Existe una brecha significativa en la capacidad de almacenamiento energético. Las tecnologías avanzadas para este fin en Colombia se encuentran en etapas incipientes, según lo indica el Catálogo Tecnológico Colombiano (MINENERGÍA, 2025a). Aunque se consideran varios tipos de tecnologías de almacenamiento, su nivel práctico de implementación es reducido, lo que limita la capacidad de respaldo y afecta la estabilidad del sistema eléctrico ante la intermitencia de fuentes renovables como la solar y eólica. Por lo tanto, se hace indispensable actualizar la infraestructura eléctrica para integrar exitosamente los sistemas de almacenamiento de energía, ya que son esenciales para mantener la estabilidad de la conexión energética de las FNCER (UPME, 2020a).

### ***Brecha 2: Brechas en la Descarbonización.***

**Meta para el Año 2030.** El compromiso nacional de descarbonización se enfoca en la meta de disminuir al menos un 51% las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030 (MinEnergía, 2021).

**Actualidad para Año 2024.** Más de un 60% de la matriz energética hace parte de combustibles fósiles, por lo tanto, la emisión de gases contaminantes no se está disminuyendo como se debería (MinAmbiente, 2024).

### **Causas de la Brecha**

***Lentitud en la adopción de tecnologías emergentes.*** A pesar de que Colombia ya definió una Ruta del Hidrógeno Verde, su desarrollo se encuentra estancada por falta de infraestructura junto a los altos costos de producción (AESCOL, n.d.).

***Continuidad en la Explotación de Hidrocarburos.*** Pese al compromiso que existe con el desarrollo de la transición energética, en el año 2023 el presidente de Ecopetrol aprobó nuevos contratos de exploración de gas y petróleo para garantizar autosuficiencia energética, sin embargo, esta acción contradice los objetivos de descarbonización (Escobar, 2023).

Esta acción contradice directamente los objetivos de descarbonización del país, dado que priorizar la expansión de reservas fósiles compromete la meta de reducción de GEI. No obstante, el dilema radica en que limitar la exploración sin un reemplazo inmediato y robusto de FNCER pondría en riesgo la seguridad y resiliencia de la matriz energética nacional. La continuidad de la autosuficiencia mediante la explotación de gas se considera crucial para la estabilidad del SIN, y el riesgo de desabastecimiento se percibe como una amenaza a los derechos constitucionales que garantizan el acceso al servicio público de energía. Por lo tanto, la aprobación de nuevos contratos se interpreta como una medida estratégica de aseguramiento de la matriz en el corto y mediano plazo, a pesar de su impacto negativo en las metas climáticas de largo plazo.

***Falta de Incentivos para la Movilidad Sostenible.*** Aunque la Ley 1964 de 2019 promueve los vehículos eléctricos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019), la penetración de estos en el mercado colombiano sigue siendo baja, con 0.2% del total mercado total (Guerrero Trujillo et al., 2023).

La baja penetración de los vehículos eléctricos en el mercado colombiano, evidencia la falta de incentivos suficientes para la movilidad sostenible. Aunque la ley anteriormente

mencionada promueve la introducción de estos vehículos, su adopción se ve limitada por barreras económicas y de infraestructura. Los costos iniciales de adquisición de vehículos eléctricos siguen siendo significativamente más altos que los de vehículos con motor de combustión interna. A esto se suma la infraestructura de carga aún incipiente y la limitada autonomía de las baterías, factores que generan incertidumbre y desconfianza en los consumidores sobre la viabilidad de la tecnología para recorridos extensos.

Finalmente, la alta dependencia del sector transporte al petróleo, y la necesidad de priorizar el Gas Natural Licuado (GNL) para el transporte pesado como combustible de transición, ralentizan el salto definitivo hacia la electrificación total del parque automotor (Guerrero Trujillo et al., 2023).

### ***Brecha 3: Brechas en la Participación Comunitaria***

**Meta para el Año 2030.** Lograr una transición energética justa, donde las comunidades donde se desarrollarán los proyectos energéticos tengan una activa participación y estén al tanto de todo (Concejo Nacional de Política Económica y Social, 2022).

**Realidad Actual.** Aún existe controversias por parte de comunidades donde se ejecutan estos proyectos de ERNC, ya que previamente no se les hizo consulta previa, por ende, se ha venido ocasionando por parte de comunidades afrodescendientes e indígenas oposición en algunos de los casos(Cardona, 2022).

#### **Causas de la Brecha**

***Falta de Procesos Efectivos de Consulta Previa.*** Es un derecho fundamental realizar la consulta previa a las comunidades étnicas, para que tengan la posibilidad de participar en temas

que de cierta manera puede afectar sus territorios, sin embargo, en varias ocasiones este proceso no se realiza de manera adecuada, ya que muchas comunidades afectadas expresan ser excluidas en este proceso, además de la falta o tardía información sobre los proyectos ha generado protestas lo que conlleva a retrasos en la ejecución de proyectos (Ríos, 2024).

La Asociación de Energías Renovables Colombia (SER Colombia) enfrentó, durante los años 2023 y 2024, significativos retrasos en proyectos que impidieron su entrada en operación en los tiempos indicados. Estos retrasos se relacionan directamente con la complejidad de los procesos de consulta previa y la obtención de permisos ambientales (Bonilla, s/f).

Ante esta situación, la Defensoría del Pueblo ha enfatizado la necesidad de realizar la consulta previa de manera fundamental para el avance adecuado de los proyectos energéticos, pues el incumplimiento de este derecho genera conflictos sociales y ambientales (Jaime et al., 2021).

Por lo tanto, es de vital importancia que, en la implementación de los proyectos de FNCER, se incorpore el consentimiento y la participación efectiva y respetuosa de las comunidades locales en los procesos de consulta previa.

***Desigualdad en la Distribución de Beneficios.*** Los resultados de las consultas previas realizadas a las comunidades Wayuu en La Guajira sobre proyectos eólicos entre 2014 y 2021 (Cardona, 2022), indican que estas comunidades no siempre reciben compensaciones ni infraestructuras básicas adecuadas derivadas de la construcción de energía renovable.

Esta problemática se ejemplifica con el Parque Eólico Jepírachi, un proyecto que enfrentó retrasos significativos debido a que las comunidades Wayuu demandaron una mejor consulta previa y la recepción de mejores beneficios sociales (Patricia et al., 2024). Este tipo de situaciones subraya la importancia de garantizar el consentimiento y la participación efectiva de

las comunidades locales en los procesos de consulta previa para evitar conflictos sociales y ambientales.

### **Factores de Gobernanza e Institucionales**

Para integrar de las energías renovables no convencionales (ERNC) está bajo la dependencia neta de la calidad de gobernanza energética y la capacidad del Estado, pese a que Colombia ha trabajado en un marco normativo desde el año 2014, donde su implementación efectiva ha dependido de la eficiencia de los procesos administrativos, la articulación entre entidades y la claridad en la distribución de competencias, sin embargo, uno de los principales desafíos a nivel institucionales es la limitada organización a nivel nacional, departamental y municipal (CEPAL, 2022b, 2022a) .

El Ministerio de Minas y Energía, la UPME, la ANLA y la CREG cumplen su rol fundamental planificando, regulando y evaluando ambientalmente, pero muchas veces cada institución opera por separado y esto ha generado vacíos en la gestión de proyectos, agravándose esta situación en aquellos sitios donde las entidades locales no tienen la capacidad técnica para integrar en sus planes de desarrollo la transición energética, al igual que para realizar el seguimiento a los proyectos de energía que se efectúan en su jurisdicción.

Por otro lado, la gobernanza participativa es otro aspecto que se encuentra en estado crítico, ya que, aunque en el marco legal se tiene contemplado los planes de gestión social y la consulta previa, se han presentado conflictos sociales por falta de comunicación efectiva hacia las comunidades y pueblos étnicos, lo que ha generado resistencia a ciertos proyectos solares y eólicos (MinEnergía, 2025b).

Por otra parte, el proceso de licenciamiento ambiental es poco congruentes frente a los objetivos energéticos, ya que si bien el proceso de por si es demorado, existe una desalineación

institucional, el país mediante el PEN busca impulsar la implementación de ERNC, siendo estas la prioridad para el proceso de transición, sin embargo, la normativa de licenciamiento ambiental no dan prioridad a estos procesos, siguen siendo igual los tiempos y procedimientos que para los proyectos tradicionales de hidroeléctrica, proyectos mineros, etc.

Razón por la cual existe una incertidumbre a nivel jurídico para los inversionistas y los proyectos ya adjudicados presentan demoras para entrar en operación. Todo esto más la falta de herramientas de monitoreo y planificación interinstitucional tiene limitado al Estado para medir el impacto que están teniendo las políticas para fomentar las FNCER (CEPAL, 2022a).

En conclusión, la implementación de ERNC en el país además de regirse por las políticas y leyes también dependen de un gobierno sólido y coherente que fortalezca la capacidad institucional y de esta manera mejorar la coordinación entre el mismo gobierno, se consolide avances normativos a través de la modernización de procesos administrativos.

### **Impacto y Medición de las Políticas Actuales**

La efectividad del marco normativo en Colombia desde la aplicación de la ley 1715 de 2014 se puede evaluar por medio de un análisis donde se observa el impacto clave en cada uno de aquellos sectores energéticos que sirven como indicadores, tales como el impacto a nivel social, económico y ambiental. Así mismo, la puesta en marcha de políticas con subastas que tienen contratos a largo plazo, el marco de precios garantizados, el tema de incentivos fiscales y los mecanismos que están regulados que se encargan de impulsar el desarrollo de ERNC han permitido tener resultados que son cuantificables, pero que también ha presentado limitantes en su seguimiento.

Con respecto al impacto económico el gobierno colombiano ha llevado a cabo avances importantes, resaltando las subastas realizadas en el año 2019 y 2021 donde se lograron más de

3000 millones de dólares en inversiones (MinEnergía, 2022), logrando que la capacidad instalada a partir de entonces creciera de manera considerable.

El impacto energético inicia en el año 2022 donde la energía solar alcanza 290 MW en su capacidad de operación y la energía eólica 18,4 MW, donde a pesar de que es poco, en el 2027 se proyecta que, si se llegan a ejecutar todos los proyectos que están aprobados hasta el momento, estas dos fuentes energéticas lograrán un 40% de la capacidad de electricidad instalada (Vega & Muñoz, 2023). Cabe mencionar que este crecimiento ha traído consigo impactos a nivel económico de manera positiva, pues se menciona en el PEN que las energías renovables no convencionales vienen generando disminución en los costos de operación a largo plazo, gracias a la utilización de recursos energéticos renovables que se encuentran gratis en la naturaleza como el viento y el sol.

Así mismo se estima que esta transición energética que se está ejecutando fortalezca la innovación en nuevas tecnologías, impulsen el empleo y dinamicen los sectores económicos que se relacionan directamente con la industria energética (UPME, 2021b). Así mismo, la fundación FINDETER menciona en su informe de gestión que la inversión en tecnologías limpias vienen teniendo un efecto multiplicador de resultados en la economía regional, dado que se vienen creando cadenas de valor y nuevas oportunidades de negocio (FINDETER, 2023b).

En cuanto a los impactos ambientales, la implementación de las FNCER es clave para la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la descarbonización. Según los escenarios propuestos en el PEN 2022–2052, para el año 2052 se proyecta que las emisiones de CO<sub>2</sub> en los escenarios más ambiciosos, como el de Disrupción y Transición Energética, disminuyan entre un 69.2% y un 82.1%, respectivamente.

Este valor representa un avance significativo respecto a la línea base. Ahora bien, también debe considerarse las fases de construcción y, especialmente, el desmantelamiento de parques solares o eólicos generan grandes volúmenes de residuos no peligrosos (escombros, metales, plásticos) y residuos peligrosos (baterías, aceites, componentes electrónicos y palas de aerogeneradores). La gestión y reciclaje adecuado de estos residuos al final de la vida útil del proyecto es un desafío clave para la sostenibilidad.

El ruido es un impacto significativo, particularmente durante la construcción y la operación de los parques eólicos, donde el sonido de las turbinas puede afectar a la fauna y a las comunidades cercanas.

La fase de mantenimiento también genera residuos, principalmente aceites, lubricantes y piezas de reemplazo que deben ser dispuestos bajo estrictas normativas ambientales.

Sin embargo, el análisis de los objetivos a mediano plazo revela una brecha crítica: para el año 2032, ningún escenario alcanza la meta del 51% en la disminución de estas emisiones (UPME, 2024a) como se observa en la tabla 7. Esta reducción inicial, considerada casi nula, se debe a que el consumo de combustibles fósiles, como el petróleo, no refleja un cambio significativo con el pasar de los años. Este mínimo cambio en el uso de fuentes contaminantes se relaciona directamente con el aumento de la demanda energética impulsado por el crecimiento poblacional y el desarrollo económico del país. Garantizar la conservación del ambiente y el cumplimiento de las metas de descarbonización requiere que las FNCER no solo desplacen a los fósiles, sino que su crecimiento supere el ritmo del aumento de la demanda, lo cual exige una política más acelerada y la superación de la dependencia histórica a los hidrocarburos.

### **Tabla 7**

*Porcentaje de Disminución de Emisiones Contaminantes Respecto al Consumo Final de*

*Energías Renovables en Colombia en Comparación con la Línea base de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC)*

Consumo final	2030	2050
Actualización	18,2%	43,9%
Modernización	19,2%	49,9%
Inflexión	21,1%	59%
Disrupción	26,4%	69,2%
Transición energética	27,5%	74,8%
	30,5%	82,1%

*Nota.* Esta tabla da a conocer que el consumo final representa una disminución de emisiones atmosféricas a mediano y largo plazo. *Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

El uso de tecnologías eólicas y solares contribuye a la mitigación del cambio climático al reducir la dependencia del sistema eléctrico a los combustibles fósiles, aunque sin eliminarla totalmente. Es fundamental reconocer que, si bien la operación de estas tecnologías es limpia, su fabricación e instalación aún requiere materiales, energías y procesos industriales que dependen de recursos no renovables. Así mismo, la implementación de las FNCER aporta a la disminución de impactos negativos en los ecosistemas, puesto que suelen tener una menor afectación a la

biodiversidad en comparación con las grandes centrales hidroeléctricas y térmicas (WWF Energy Nature, 2023).

En torno a los impactos a nivel social, se puede ver que las ERNC en Colombia han permitido a las comunidades de zonas rurales acceder a servicios básicos con programas de electrificación, por medio de paneles solares, mejorando así la calidad de vida de estas comunidades afrodescendientes e indígenas por medio del acceso a la conectividad, iluminación y otros servicios del sistema de salud y educativos (Bedoya et al., 2024) . También se ha incentivado a que estas comunidades se empoderen y se involucren en el desarrollo e implementación de proyectos energéticos, logrando así la generación de empleos de forma directa lo que favorece las capacidades técnicas y la creación de sus propios ingresos a nivel local (Bedoya et al., 2024).

Pese a estos logros, aún persiste ciertas limitaciones importantes con respecto a la medición real del impacto que ha tenido estas políticas, una de las principales batallas es la poca armonización que tienen los sistemas de información, además del nulo sistema de indicadores que contribuyan en la evaluación de los efectos generados por las políticas energéticas a nivel social, ambiental y territorial, por lo tanto, no existe la posibilidad de realizar ajustes oportunamente a las normas basados en los resultados (CEPAL, 2022a).

Cabe mencionar que para medir el impacto se debe centrar en ciertas variables económicas y técnicas, sin dar tanta importancia a temas cualitativos como lo es la aceptación social, qué tanto participan las comunidades y en general la equidad territorial para acceder a los beneficios que trae consigo la transición energética. Esta dimensión es de vital importancia considerar ya que de esta manera se garantiza que el proceso sea eficiente en temas como la disminución de gases efecto invernadero (BID, 2024).

Organismos como BID, la OCDE y la CEPAL le han recomendado a Colombia avanzar en la construcción en un sistema que evalúe y monitoree la transición energética del país, pero con la integración de mecanismos participativos que prestan el servicio de prestación de cuentas, y así mismo, que integre datos segregados por región. La OCDE (2022) y la CEPAL (2022c) mencionan que sólo de esta manera es posible progresar en el diseño de políticas, asegurando su continuidad y adaptación a los desafíos actuales y futuros que se puedan presentar.

### **Lecciones Aprendidas**

A continuación, se presenta un listado de lecciones producto de la revisión bibliográfica, siendo posibles aprendizajes a tener en cuenta para futuras actualizaciones de políticas y estrategias para la implementación de energías renovables no convencionales en el país.

#### ***Importancia de Contar con una Normativa Clara***

Esta es una de las lecciones más claves e importantes, ya que de la implementación de políticas consistentes y claras va a depender la promoción de la inversión e innovación de nuevos proyectos de energías renovables, ya que se ha notado que la falta de claridad en las normas regulatorias, desanima la inversión por lo que esto genera afectación directa al sector (Urbano et al., 2023).

#### ***Los Incentivos Representan un Componente Esencial***

Los incentivos tanto fiscales como financieros resulta ser trascendentales al momento de impulsar la adopción de las FNCER. La existencia de exenciones fiscales, créditos blandos y subsidios contribuyen en la reducción de costos iniciales y así mismo, mejorando la rentabilidad en la implementación de proyectos (Hernández, 2021).

### ***Concientización y Educación de la Ciudadanía***

Es necesario implementar programas educativos y de concientización a nivel público sobre la importancia de las energías renovables. Se ha notado que a mayor acogida de la ciudadanía de proyectos renovables, reduce el rechazo local (Vargas, 2017a).

### ***Innovación y Avance Tecnológico***

Invertir en desarrollo e investigación es vital para en el futuro reducir costos y mejorar la eficiencia de las tecnologías de energías renovables. La unión entre empresas del sector privado, universidades u el gobierno será fundamental para acelerar este proceso tecnológico, lo que facilitará la integración de nuevas tecnologías de innovación (Vargas & Dermer, 2022).

### ***Planificación y Coordinación a Nivel Intersectorial***

Se resalta la necesidad de planificar y coordinar a largo plazo de manera eficaz en los diversos sectores con el fin de lograr un desarrollo sostenible en la implementación de energías renovables. Pero, es necesario tener unas políticas energéticas con objetivos no sólo de tipo ambiental sino también busque el beneficio a nivel social y económico, donde se garantice un enfoque coherente al cumplimiento de metas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

### ***Participación Comunitaria y Consideración Socioambiental***

Se ha evidenciado la necesidad de tener en cuenta consideraciones socioambientales, con el fin de favorecer la participación de comunidades para la puesta en marcha de proyectos energéticos de fuentes renovables no convencionales. Hacer consultas previas a las comunidades

locales de manera temprana para escuchar sus opiniones, evitará futuros al momento de ejecutar el proyecto (MINENERGIA, 2023).

### ***Uso Eficiente y Gestión Efectiva de los Recursos Regionales***

Resulta crucial explotar el potencial regional de recursos renovables, de acuerdo a las características climáticas y geográficas de cada región (Mora & Quicaza, 2021), para esto es necesario la implementación de tecnologías que se adapten a las condiciones de la región para impulsar en áreas rurales proyectos a pequeña escala (Investin Colombia, 2018).

### ***Monitoreo Constante con Capacidad de Adaptación***

Se resalta la importancia de evaluar de manera continua la formulación de proyectos de energía renovables, recopilar información y retroalimentar sobre los proyectos ya implementados es clave para reconocer áreas a mejorar y así mismo, adaptar las estrategias (Martínez et al., 2022).

### **Propuestas de Mejoras y Ajustes a las Políticas Actuales**

Con estas propuestas se busca crear un entorno más favorable para el desarrollo y consolidar las energías renovables no convencionales en Colombia, impulsando de esta manera la sostenibilidad, la innovación y la participación comunitaria.

Para mejorar la legislación con respecto a las ERNC en Colombia, es posible implementar varias estrategias que aborden las barreras actuales y así mismo, fomente un ambiente favorable para el desarrollo de estas energías tales como:

### ***Adecuar más Incentivos Fiscales y Financieros***

**Aminorar los impuestos.** Ampliar la excepción de impuestos para proyectos de energías renovables, como la eliminación del IVA y aranceles en la importación de tecnologías y equipos requeridos.

**Tener Créditos y Subvenciones.** Ampliar los créditos y subvenciones específicamente para proyectos de energías renovables no convencionales, en especial para pequeñas y medianas empresas (PYMES) y comunidades rurales (MINAMBIENTE, 2022).

**Distintos Métodos de Financiación Verde.** Como la creación de verdes y otros instrumentos financieros que impulsen la inversión hacia proyectos de ERNC (Cieza, 2020).

### ***Fortalecimiento del Marco Regulatorio***

**Firmeza Regulatoria.** Al finalizar la predictibilidad y estabilidad del marco regulatorio con el fin de atraer inversiones a largo plazo (Marín et al., 2022).

**Facilidad de Trámites.** Reducir la lentitud y complicación de trámites para simplificar los procesos de permisos y licencias para la implementación de proyectos de energías renovables. En consonancia con el espíritu de la Ley 1715 de 2014 y sus instrumentos reglamentarios, la estrategia debe centrarse en la promoción de Subastas específicas y periódicas para la asignación de contratos de suministro de largo plazo. Este mecanismo competitivo es el preferido por la regulación colombiana para garantizar que las FNCER alcancen precios justos y competitivos para los productores (Vergara, 2010), a la vez que se asegura la firmeza y confiabilidad de la matriz. La tarifa Feed-in Tariff (FiT), aunque mencionada históricamente, no ha sido el mecanismo central adoptado por Colombia, cuyo enfoque se dirige a la competitividad de mercado mediante subastas.

**Fomentar la Investigación y el Desarrollo (I+D).** Inversión en Acuerdos

I+D. Continuar con el aumento de fondos que se destinen al desarrollo e investigación de nuevas tecnologías de energías renovables (Agencia Internacional de las Energías Renovables - IRENA, 2015). Actualmente, el porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) que Colombia destina a actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) es bajo, oscilando históricamente alrededor del 0.3% al 0.5%. Este porcentaje se considera insuficiente para impulsar la innovación, la articulación de los centros de investigación y la transferencia tecnológica necesaria para alcanzar las metas ambiciosas de la transición energética al 2030 y 2050. Un incremento significativo y sostenido en esta inversión es fundamental para superar la dependencia tecnológica, fortalecer el ecosistema de I+D+i y asegurar la viabilidad de la diversificación de la matriz energética.

**Centros de Innovación.** Fortalecer y articular los numerosos centros de innovación y laboratorios ya existentes en el país para el desarrollo y prueba de tecnologías renovables. Es crucial que el sector público, el sector privado y las universidades que participan establezcan mecanismos de monitoreo y visibilidad para demostrar la pertinencia y el impacto de los resultados obtenidos. Esto es esencial para asegurar que la inversión en I+D se traduzca efectivamente en soluciones aplicables que aceleren la implementación y diversificación de las FNCER en la matriz energética (Agencia Internacional de las Energías Renovables - IRENA, 2015).

**Transferencia Tecnológica.** Simplificar acuerdos de transferencia en tecnología y adquirir conocimientos de otros países que estén más avanzados en el uso de energías renovables (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo - UNCTAD, 2023).

**Desarrollo de Infraestructura.** Redes Inteligentes (Smart Grids). Modernizar la infraestructura eléctrica a través de inversiones mediante el desarrollo de redes inteligentes para que optimicen la incorporación de energías renovables (Gómez et al., 2018).

**Almacenamiento Energético.** Incentivar la investigación junto al desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía, tales como sistemas de bombeo hidroeléctrico y baterías, con el fin de asegurar estabilidad del suministro eléctrico en el país (Secretaría de Estado de Energía, 2021).

**Infraestructura de transporte.** Amplificar el desarrollo de infraestructura para la integración de energías renovables en el transporte eléctrico, tales como estaciones de carga para vehículos eléctricos (Messina et al., 2022).

### ***Sensibilización y Educación***

**Programas Educativos.** Fomentar programas de educación en temas de energías renovables no convencionales en todos los grados del sector educativo, desde primaria hasta la universidad (J. Vargas, 2017b).

**Capacitación Profesional.** Ofertar programas profesionales y técnicos de capacitación y certificación en el sector de las energías renovables (Resource Consultants, 2010).

**Campañas de Sensibilización.** Ejecutar campañas de concientización y sensibilización a toda la ciudadanía en general sobre el aprovechamiento y beneficios de las energías renovables (Agnello, 2020).

### ***Fomento de Proyectos Comunitarios***

**Empoderamiento a Comunidades Locales.** Apoyar aquellos proyectos de energías renovables que sean tramitados por comunidades locales, con el fin de proporcionar ayuda técnica y financiera (Arango, 2022).

**Cooperativas Energéticas.** Favorecer la constitución de cooperativas energéticas para que las comunidades rurales puedan producir y gestionar su propio suministro energético a partir de fuentes renovable (Vera, 2018).

### *Monitoreo y Evaluación de Políticas*

**Indicadores de Desempeño.** Tener indicadores para medir y tener claros y transparentes los desempeños para evaluar el impacto que están teniendo las políticas y programas de energías renovables (Kumar, 2017).

**Revisión Periódica.** Llevar a cabo revisiones de las políticas energéticas de manera periódica, con el fin de mejorar y ajustar las estrategias de acuerdo a los resultados obtenidos y los avances tecnológicos (Membrado, n.d).

### *Integración Regional y Cooperación Internacional*

**Alianzas Regionales.** Fortalecer las alianzas y cooperación regional con países vecinos para el desarrollo de proyectos conjuntos y el intercambio de experiencias y tecnologías (Ayllon, 2010).

**Acuerdos Internacionales.** Participar activamente en acuerdos y convenios internacionales que promuevan el uso de energías renovables y el desarrollo sostenible (Beltrán, 2016).

## **Ajustes en los Incentivos Financieros**

A continuación, se presentan algunas propuestas que pretenden ajustar las brechas actuales durante la integración de las energías renovables y así mismo, a otras necesidades identificadas de estratégicas proyectadas, por ende, a continuación, estas propuestas tendrán dos enfoques que son:

### ***Ajustes a los Incentivos Financieros Asociados Directamente a Brechas Identificadas***

**Acceder de Manera Rápida a Incentivos Fiscales para Disminuir los Retrasos en el Desarrollo de Proyectos.** Teniendo en cuenta los retrasos en el proceso de licenciamiento ambiental junto a la conexión al SIN, se necesita simplificar el procedimiento para tener acceso a la deducción de renta y exclusión del pago al impuesto del IVA, evadiendo así demoras en trámites excesivos, además estos incentivos se podrían ejecutar por etapas y no sólo tras la finalización (Corficolombiana, 2022).

**Bonos Verdes e Incentivos para Almacenar Energía.** De acuerdo a la limitación de la capacidad para almacenar energía y así mismo, para poca participación es recomendable la creación de bonos verdes para aquellos proyectos que incorporen a sus proyectos tecnologías o baterías de almacenamiento con el fin de reducir costos de operación, al igual que el suministro de energía sea confiable y flexible (Energiminas, 2024).

**Llevar a Cabo Procesos de Consulta Previa y Financiar a Comunidades.** Teniendo en cuenta la débil participación de las comunidades locales, debido a consultas previas ineficientes, es importante establecer líneas de crédito blando, con subsidios que incentiven su participación y además se cuente con garantías públicas (MINENERGÍA, 2023c).

**Incentivar el Transporte Eléctrico y en General la Movilidad Sostenible.** En la normativa del proceso de descarbonización, hace falta incentivar al transporte sostenible y esto es sin duda una limitante estructural. Por ende, se propone amplificar los beneficios tributarios que hay actualmente y tomar iniciativas de movilidad eléctrica que estén vinculadas con las FNCER, además de excluir el IVA a vehículos eléctricos que hagan uso de energía renovable certificada (Ámbito Jurídico, 2025).

En relación con esto, el gobierno busca garantizar que los proyectos de infraestructura masiva, como el Metro, se alineen con las metas de descarbonización del país (reducir el 51% de GEI para 2030) y la promoción de la movilidad eléctrica (promovida por la Ley 1964 de 2019). La visión es que el Metro debe ser un símbolo de la transición energética urbana. Aunque el Metro elevado es eléctrico, se han planteado objeciones sobre el alto uso de concreto en su construcción (estructura elevada), señalando que el sector de la construcción es uno de los mayores emisores de CO<sub>2</sub> y que esto contradice los objetivos de una construcción baja en carbono.

### ***Ajustes Complementarios a los Incentivos de Forma Estratégica***

**Aceleración del Retorno de Inversión con Optimización Tributaria para Fuentes Tecnológicas de Energías Renovables.** A pesar de que ya es un hecho la depreciación rápida de un 33,3% al año, con la ley 1715 dejar que haya una depreciación aún más rápida aproximadamente en 3 años, facilitaría el retorno de la inversión, lo cual sería muy atractivo para que los inversionistas apoyen proyectos de ERNC, sobre todo ahora que estamos en el contexto de una transición energética en el mundo (Latin Energy Group, 2024).

**Ampliar el Catálogo de Servicios y Bienes Exentos Aranceles y del Impuesto IVA.** Es importante incluir servicios complementarios que actualmente no están contemplados en la normativa tales como estudios de mantenimiento, consultoría, monitoreo y gestión; esto va a tener un enfoque integral y se disminuirán los costos de proyectos (Congreso de la República de Colombia, 2014); (DIAN, 2017).

**Incentivos Diferenciados a Nivel Regional.** Es de vital importancia incentivar de manera local y departamental aquellos territorios que cuentan con un alto potencial energético, como lo son Magdalena, Arauca, la Guajira, etc., como la reducción de tasas tributarias, tener alianzas tanto públicas como privadas para que sea más rápido el proceso de inversión, igualmente ofrecer acceso de manera prioritaria para acceder a fondos como FENOGE (La energy Group, 2021).

## **Análisis de Viabilidad y Perspectivas Futuras**

La transición energética en Colombia se fundamenta en metas ambiciosas proyectadas a mediano y largo plazo, enfocadas en la consecución de una matriz energética ambientalmente sostenible y baja en carbono, con la ayuda de la integración y adopción de las FNCER. Sin embargo, además de estipular estas metas, es crucial evaluar la viabilidad de alcanzar dichos objetivos bajo las circunstancias actuales del país.

Esta sección tiene la finalidad de analizar la viabilidad de integrar las FNCER y alcanzar las metas nacionales, tomando como referencia la información oficial sobre la capacidad instalada actual y los escenarios futuros establecidos en el PEN 2022–2052. A partir de este análisis, será posible identificar brechas críticas, evaluar las capacidades existentes y determinar los factores principales que podrían limitar o favorecer el logro de los objetivos para el año 2030 y 2050.

El análisis abordará probables escenarios futuros que van desde un enfoque crítico-conservador hasta uno optimista, considerando determinantes de tipo social, político, económico y tecnológico. Finalmente, se presentará una serie de propuestas orientadas a impulsar la viabilidad de la transición energética en el país de la mano de las FNCER.

### **Análisis de las perspectivas futuras y viabilidad de la capacidad instalada MW de las FNCER**

Teniendo en cuenta el informe más actualizado de sector energético del país (UPME, 2024d) y las proyecciones estimadas en el PEN 2022 – 2052 (UPME, 2024a), es posible analizar y comparar el nivel de capacidad instalada actualmente y la capacidad MW proyectada a mediano y largo plazo. Este análisis está enfocado exclusivamente en dos escenarios de los 5

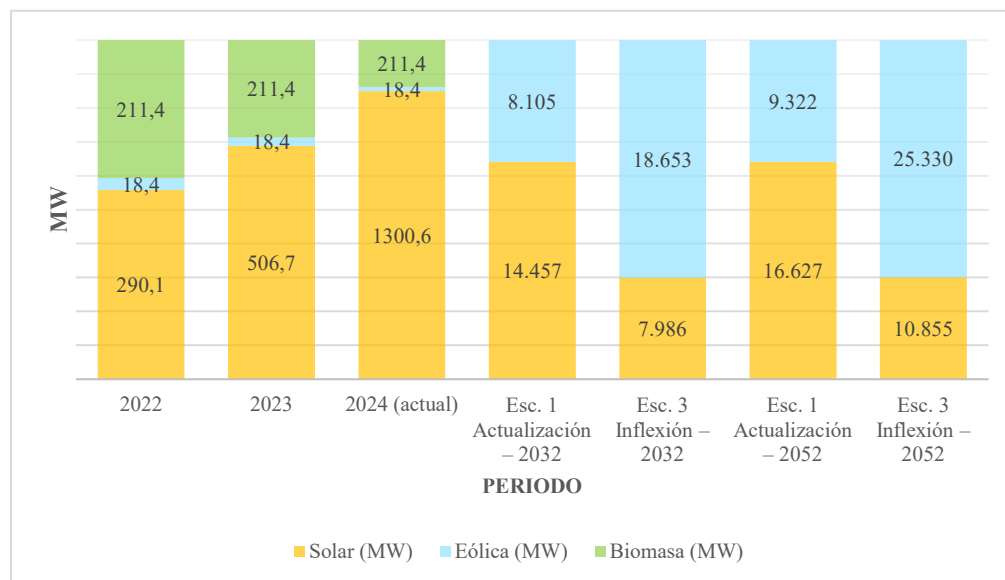
propuestos por la UPME, los cuales son: el escenario 1 Actualización, el cual es un escenario con enfoque tendencial, es decir representa los posibles resultados si todo continúa sin mayores cambios en las políticas, tecnología e inversión y el escenario 3 Inflexión, busca una transición estructural acelerada, no es el escenario más ambicioso pero si el más realista si se ejerce políticas efectivas de descarbonización, incorporación de FNCER, innovación tecnológica, etc.,. Por lo que la elección de estos dos escenarios se basó en el espectro de proyección que cada uno maneja.

La capacidad instalada de las FNCER en la matriz energética de Colombia hasta el año 2024 presentó un crecimiento significativo y sostenido en la energía solar, ya en el corto plazo de los escenarios proyectados, la fuente solar continúa con una trayectoria predominante frente a la energía eólica en el caso del escenario de Actualización, debido a su rápida implementación y madurez tecnológica alcanzada en el país.

No obstante, en el escenario de Inflexión, para los años 2032 especialmente hacia el año 2052 hay un cambio de tendencia como se puede observar en la figura 37, donde la energía eólica toma el protagonismo y supera a la energía solar, siendo el escenario con mayor desarrollo. Este giro es un comportamiento como respuesta a la necesidad de diversificación y resiliencia en la matriz energética que plantea el PEN, buscando implementar y expandir ambas fuentes, siendo clave para lograr estabilidad y seguridad en el sistema energético sin depender de una sola tecnología energética. En síntesis, la figura 37 muestra que la consolidación de la energía solar junto al fortalecimiento de la energía eólica en el largo plazo, son las principales tecnologías que marcarán un verdadero hito en el proceso de transición energética en Colombia.

**Figura 37**

*Capacidad Instalada de las FNCER Recientemente en Colombia Frente a Capacidad Instalada Proyectada a 2032-2052 (MW)*



*Nota.* Los valores presentados en la proyección a 2032 tanto del escenario de actualización como de inflexión se obtuvieron del cálculo proporcional a partir de las proyecciones a 2052, teniendo en cuenta que en el PEN 2022-2052 no están esos datos, pero menciona que su participación se mantiene constante en ambos periodos. *Fuente.* Adaptado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

### **Análisis de Viabilidad para Alcanzar los Niveles de Capacidad Instalada**

El crecimiento que los dos escenarios proyectan técnicamente si es posible que se pueda ejecutar y hacer real, sin embargo, este logro va a depender de varios factores, por ejemplo, en el caso del escenario 1 (Actualización), los avances serían más fáciles de lograr si se sostiene el

impulso que actualmente llevan las políticas, como es el caso del interés privado y los incentivos tributarios de la ley 2099 de 2021.

Y para alcanzar los logros proyectados del escenario 3 (Inflexión) si conllevará un desafío muchísimo más grande, teniendo en cuenta que va a necesitar un cambio estructural a toda la planificación energética que existe actualmente, empezando por la inversión pública y privada junto a la disminución rigurosa de barreras de regulación y operación.

### ***Impedimentos para alcanzar el crecimiento.***

Entre los principales desafíos para cumplir con las metas son:

**Social.** Donde la comunidad rechace ciertos proyectos, la ejecución de consultas previas eficaces y la falta de beneficios físicos para las comunidades locales.

**Tecnológico.** La reducida capacidad de tecnología a nivel local, lo que provoca demoras en la cadena de suministro, por lo que se necesita una capacidad más grande de almacenamiento para lograr un sistema más flexible.

**Regulatorio.** Los enredados y demorados trámites de licenciamiento ambiental, al igual que el demorado proceso para la conexión a red y que las autoridades competentes del sector se encuentren y trabajen más alineadas.

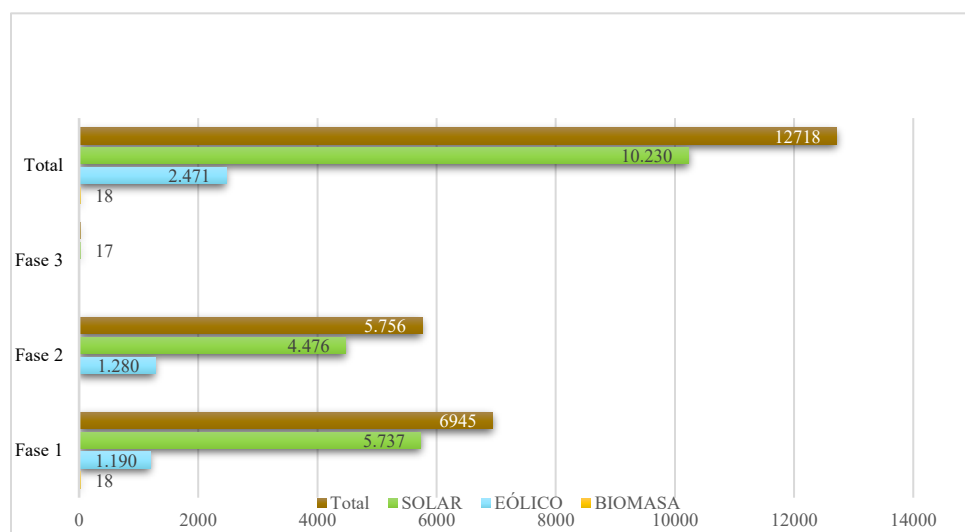
### **Coherencia entre la Tendencia Actual y los Escenarios Proyectados Según el PEN 2022-2052**

Observando la evolución y actualización más reciente de los proyectos registrados que se encuentran en fase de construcción de energía eólica, solar y biomasa tal como se puede observar en la figura 38, es posible declarar que Colombia se encuentra más alineado con el escenario 1

(Actualización), teniendo en cuenta que la capacidad de proyectos que se encuentra en fase de inicio es casi la mitad de la capacidad total de proyectos (12.718 MW), especialmente de energía solar y eólica porque de biomasa sólo cuenta con 18 MW y se encuentra en fase 1, en fase 2 se encuentra una capacidad total de 5.756 MW y en fase 3 tan sólo hay 17 MW pertenecientes a la energía solar, esto demuestra que la puesta en marcha para operar es muy lenta, por lo tanto, teniendo en cuenta estos resultados a la fecha, si no se toman medidas energéticas realmente determinantes, creería que el escenario 3 sería imposible de alcanzar.

### Figura 38

*Capacidad MW de Proyectos Registrados de FNCER en Fase de Construcción*



*Nota.* La figura presenta la capacidad que tiene cada una de las fuentes energéticas de los proyectos que se encuentran registrados en la actualidad. *Fuente.* Adaptado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

### ***Qué se Necesitaría Cambiar para Alcanzar el Escenario de Inflexión***

Para alcanzar el escenario 3, es necesario fortalecer la capacidad tanto institucional como la gestión del sector energético para asumir un mayor nivel de complejidad estratégica.

Optimizar y simplificar la tramitología regulatoria y administrativa para la ejecución de proyectos de energía renovable no convencional.

Desarrollar una infraestructura de transmisión robusta y ubicada en zonas clave, con alto potencial de proyectos renovables, como por ejemplo en la Guajira.

Promover activamente la inclusión de las comunidades locales con el fin de garantizar que los beneficios procedentes de los proyectos se reflejen en la misma comunidad.

Crear una política energética pública donde se pueda consolidar a largo plazo como una política que respalda la continuidad de incentivos y la estabilidad jurídica, creando así un ambiente normativo favorable a los inversionistas.

Para concluir, la UPME tiene proyectados unos escenarios que representan una guía estratégica que busca transformar el sistema energético haciéndolo más diversificado y sostenible; sin embargo, el cumplimiento de estas metas no está garantizado.

En el caso puntual del escenario 3, para alcanzar las metas implicará un compromiso y coordinación efectiva entre el Estado gubernamental, el sector privado y la ciudadanía o comunidad. Por ende, si no se afrontan las barreras estructurales de la actualidad, el país continuará con una trayectoria de avance limitada e ineficiente para alcanzar una transición energética eficaz.

### **Análisis del Porcentaje de Participación Actual y Proyectado de las FNCER en los Escenarios 1 y 3 de la Matriz Energética Nacional**

Con respecto a la participación de las FNCER en la matriz energética nacional, actualmente frente a lo proyectado en los escenarios 1 y 3 para el año 2052, en la figura 39 es posible observar que para fin de periodo los dos escenarios han logrado un avance importante, especialmente el escenario 3 donde la matriz energética depende básicamente de las FNCER para el año 2052.

Actualmente la fuente hidroeléctrica es la que lidera la matriz energética, participando con un 63,5%, en segundo lugar, se encuentran las fuentes térmicas con un aporte del 29,1% y por último se encuentran las FNCER con una participación del 7,4%, siendo un aporte bajo en comparación de las otras dos fuentes, lo que evidencia que estas fuentes no convencionales aún se encuentran en etapa inicial de expansión, además de enfrentar desafíos a nivel estructural que limitan su desarrollo.

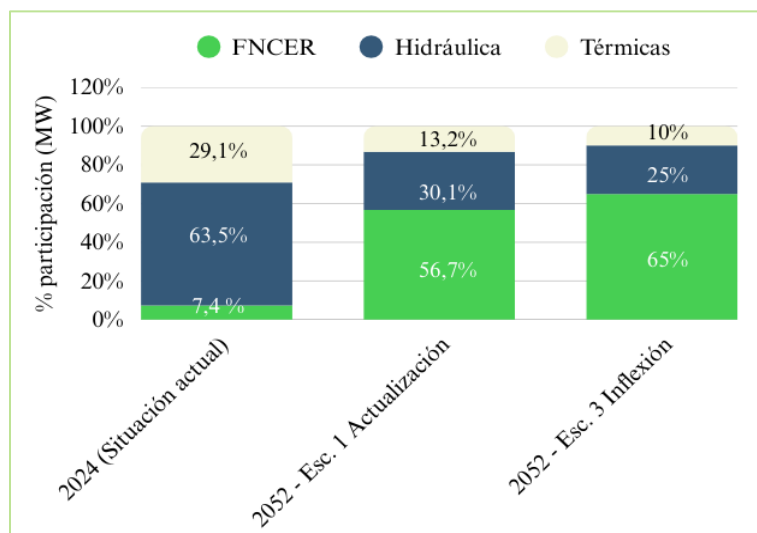
En el escenario de actualización para el año 2052 aumenta de manera significativa la participación de las FNCER, alcanzando un 56,7%, representando un cambio estructural interesante en la matriz energética frente al 7,36% de participación en el año 2024. De esta manera, el proceso de transición energética consolida las fuentes no convencionales como las principales fuentes generadoras de energía al SIN, gracias a la operación de proyectos masivos de energía solar y eólica, lo que demuestra la puesta en marcha de políticas de descarbonización y diversificación, a pesar de que este escenario no busca un cambio tan profundo.

En el caso del escenario 3 (Inflexión) para el año 2052 permite una transición energética mucho más sustancial y ambiciosa que contribuye a la descarbonización de forma acelerada. Las FNCER alcanzan una participación de 65% en la matriz energética, la fuente hidroeléctrica descende su participación a tan solo un 25% y las térmicas a un 10%. Este cambio refleja la

existencia de una planificación comprometida con políticas activas, innovación tecnológica y aumento de inversores por la mejora y permanencia de incentivos.

### Figura 39

*Porcentaje Actual de Participación de las FNCER Frente a la Meta Proyectada para 2052*



*Nota.* La figura presenta el nivel de participación de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable que Colombia tiene proyectado a largo plazo de acuerdo a los escenarios de estudio.

*Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME,

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

### **Hallazgos Destacados**

Las FNCER son tendencia en ambos escenarios, luego de tener una participación marginal o casi nula; sin embargo, su alcance dependerá netamente de las decisiones en cuanto a la inversión y las políticas regulatorias en los próximos años.

La participación de la fuente hidroeléctrica disminuye relativamente sin reducir su capacidad de manera absoluta, para dar lugar al crecimiento de las FNCER, especialmente la energía solar y eólica.

La reducción en el uso de energía térmica es una evidencia clara de pretender inclinarse hacia fuentes de energía más limpias y de esta manera contribuir a la disminución de la huella de carbono.

El país en el estado actual, la matriz energética depende básicamente de la fuente hidroeléctrica y fuentes térmicas, razón por la cual, para que en el año 2052 las FNCER sean las que tengan mayor participación tal como lo muestra el escenario 3, es crucial generar un cambio estructural en el sistema energético.

### **Análisis del Aporte de las FNCER frente a la Reducción de Emisiones de GEI de Acuerdo con los Escenarios 1 y 3 Proyectados para 2032 y 2052**

En la figura 40, se muestra la proyección de las emisiones generadas por el consumo final energético que tiene el país; aquí es posible resaltar la misión de las FNCER en la disminución de gases efecto invernadero. En esta proyección el escenario de Actualización da a conocer que, si mantiene una incorporación moderada de las FNCER, para el año 2032 las emisiones aumentarán a 91,2 Mt CO<sub>2</sub>eq y para el año 2052 a 100,6 Mt CO<sub>2</sub>eq como consecuencia al uso de combustibles fósiles tal como se está llevando en el modelo energético actualmente, donde el 54% de estas emisiones será responsable el petróleo, 40% el gas y el carbón un 6% (UPME, 2024a).

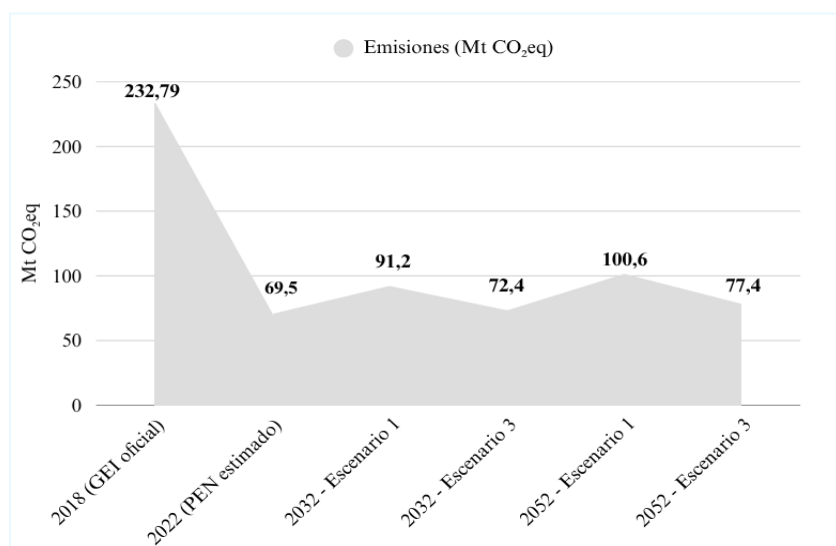
En el escenario de Inflexión se refleja la disminución de emisiones de manera significativa, para el 2032 con 72,4 Mt CO<sub>2</sub>eq y para el año 2052 se mantiene la disminución porque a pesar de pasar 20 años se proyecta un valor de tan sólo 77,4 Mt CO<sub>2</sub>eq. Es evidente que

reemplazar los combustibles fósiles por FN CER especialmente la solar y eólica junto a la implementación de medidas de eficiencia energética generan un cambio estructural en la matriz energética, logrando eliminar el uso del carbón mineral razón por la cual el 51% de emisiones harán parte del petróleo y sus derivados y un 49% al consumo final del gas natural. Una de las metas internacionales que tiene Colombia es reducir el 51% de emisiones totales para el año 2030 (MINENERGÍA, 2024), en este sentido, con la proyección del escenario 1, esta meta sería imposible de cumplir; sin embargo, con el escenario 3 no se tiene garantizado su cumplimiento, pero sus lineamientos sí se encuentran más acordes para llegar a cumplir este compromiso.

Las emisiones graficadas y analizadas en la figura 40 para el año 2022 se escoge como base (situación actual), cuyo valor es una estimación coherente de los escenarios proyectados 1 y 3. Además se grafica el dato oficial más reciente para el año 2018 (232,79 Mt CO<sub>2</sub>eq) reportado por el Inventario Nacional de GEI (Ministerio de Minas y Energía, 2024), perteneciente al total de emisiones del sector minero energético, el cual no es comparable con los valores del consumo energético final, pero se presenta como un dato histórico referente y ampliado del sector.

#### Figura 40

*Emisiones Atmosféricas Actuales vs la Proyección de Emisiones Escenarios 2032-2052*



*Nota.* La figura muestra las emisiones pertenecientes al consumo energético final de acuerdo con lo proyectado en el PEN 2032-2052 (UPME, 2024a). El año 2022 se escoge como base (situación actual), cuyo valor es una estimación coherente de los escenarios proyectados 1 y 3.

*Fuente.* Tomado de. *Plan Energético Nacional 2022 – 2052 Tomo I.* (2024), UPME, [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052_Tomo1_VF.pdf).

### ***Posibles Escenarios a Mediano y Largo Plazo***

Analicemos tres posibles escenarios generados a partir del análisis de tendencias durante el desarrollo de esta monografía, especialmente de secciones como la implementación actual de las ERNC en el país, las políticas, avances y brechas y de la planificación energética con metas estratégicas a mediano y largo plazo, es posible identificar los posibles rumbos de acuerdo a las acciones que decida tomar el país en los próximos años.

El análisis prospectivo de la transición energética en Colombia contempla tres escenarios principales, cada uno con una viabilidad y un estado actual distinto. El Escenario Crítico se caracteriza por una alta viabilidad de ocurrencia (Alto), debido a que proyecta un posible retroceso o estancamiento en la transición, la debilidad de los incentivos tributarios, un aumento en los conflictos sociales con comunidades locales y la continuidad de la dependencia de combustibles fósiles.

En contraste, el Escenario Moderado posee una viabilidad de ocurrencia Media, donde se proyecta la subsistencia de desafíos de índole social, financiero, técnico y regulatorio, lo que resultaría en un avance total parcial de las metas. Finalmente, el Escenario Optimista, con una baja viabilidad de ocurrencia (Bajo) en el estado actual, se describe por la instalación de redes

modernas, el apoyo comunitario, una inversión sostenida, el cumplimiento total de las metas y el crecimiento gradual de las FNCER.

### ***Evaluación Crítica de la Viabilidad***

Las metas energéticas que Colombia se trazó a mediano (2032) y largo plazo (2052) dentro de una perspectiva crítica, pueden ser alcanzables siempre y cuando el gobierno colombiano haga un esfuerzo gigante en pro de la adopción de las FNCER. Ya que actualmente, a pesar de que se ha venido avanzando, la velocidad es demasiado lenta como para lograr toda la proyección del escenario de Inflexión.

Para que estas metas puedan llegar a materializarse considero que el Estado colombiano debe asegurarse de:

Seguir con la actualización de nuevas políticas públicas y asegurarse de su cumplimiento.

Aliviar los trámites administrativos.

Impulsar la inversión pública con el fin de complementar la inversión privada.

Mejor coordinación entre las autoridades competentes (UPME, MINENERGÍA, etc.).

Lograr que el sector energético se articule con otros sectores (territorial, ambiente, entre otros), para trabajar en conjunto en pro de la descarbonización.

### **Recomendación y Propuestas Personales**

Con el fin de continuar con la lucha hacia la transición energética en Colombia se expone el siguiente plan de acción:

Apoyo a infraestructura débil mediante el fomento de inversión pública para sistemas de almacenamiento, para mejoras y fortalecimiento de las líneas de transmisión y para la integración

de tecnologías digitales que facilitan el sistema energético en términos de generación, transmisión, distribución y consumo.

Favorecer el desarrollo local con el fin de impulsar la innovación tecnológica, favoreciendo la colaboración entre diferentes actores, la creación de redes y la formación de sistemas de innovación con base en las necesidades.

Asegurar la participación de la comunidad local no solamente en las consultas previas sino en todo el proceso de construcción de los proyectos energéticos, con el fin de garantizarles la inclusión, apoyo y beneficio, además de no tener retrasos en la ejecución y puesta en marcha de proyectos.

Como primera medida, dar prioridad a los territorios con gran potencial en generación de energía renovable con el fin de ir de manera rápida y productiva hacia la transición energética.

### **Oportunidades para una Expansión Sólida de las FNCER en Colombia**

Lograr la sostenibilidad y estabilidad de las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables implica una serie de desafíos en todos los ámbitos de desarrollo (sociales, ambientales, económicos, tecnológicos, políticos y normativos). Pese a la trayectoria en los últimos años, los obstáculos y brechas continúan de manera persistente, razón por la cual necesitan atención de manera inmediata para lograr el cumplimiento de metas estratégicas a mediano y largo plazo (SER Colombia, 2025; UPME, 2024a).

Ya varios de los desafíos a nivel estructural se han nombrado a lo largo del desarrollo de esta monografía, pero cabe resaltar los datos publicados por SER Colombia (2025) donde varias empresas dan a conocer cuáles han sido sus inconvenientes al momento de querer implementar un proyecto de energía renovable no convencional, el cual en la figura 41, se da a conocer los resultados donde los factores más críticos para dar luz verde a la inversión y ejecución de

proyectos tiene que ver con la regulación (trámites y licencias), infraestructura (procesos de conexión a red) y gobernanza institucional (estabilidad jurídica). Por lo tanto, se debe dar primer lugar a resolver inconvenientes al proceso de regulación para frenar el estancamiento que hay con las FNCER. Sin embargo, varios de estos factores se pueden aprovechar para dar un salto hacia la transición energética, sabiendo convertir estos desafíos en oportunidades de crecimiento estratégico hacia el año 2052.

### Figura 41

#### *Factores Habilitantes para la Implementación de Proyectos Energéticos de FNCER*



*Nota.* La figura muestra los inconvenientes más comunes a los que se deben enfrentar la puesta en marcha de proyectos de las FNCER. *Fuente.* Tomado de. *Fuentes no Convencionales de Energías Renovables (FNCER) en 2025.* (2025), SER Colombia, <https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2025/02/informefeb2025.pdf>.

### Oportunidades Para Activar e Impulsar la Transición Energética

Frente a los diversos desafíos es posible tener oportunidades para activar el crecimiento y desarrollo de las FNCER:

### ***Potencial Regional***

Determinados territorios del país de por sí ya cuentan con el privilegio de tener un gran potencial por su riqueza en recursos naturales como el sol y el viento, esto aplica para zonas como los llanos orientales, la costa Caribe y la Guajira, razón por la cual se debe completar una infraestructura robusta en estos sitios para sacar el máximo provecho generando energía renovable a gran escala (SER Colombia, 2023a).

### ***Implementar las Redes Inteligentes a Través de la Digitalización***

Incorporar sistemas avanzados permitirá que el almacenamiento y la gestión distribuida se haga de manera más eficiente (UPME, 2024a).

Enfoque espacial e inclusión social: Es fundamental reducir la tasa de rechazos por parte de las comunidades locales, teniendo como solución integrarlos en todo el proceso, desde la toma de decisiones hasta los beneficios de tipo económico (CEPAL, 2022c)

### ***Alineación entre los Compromisos Climáticos y el Financiamiento Extranjero***

Alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible junto a los Compromisos Determinados a Nivel Nacional, situaría a Colombia como un lugar destinado para desarrollar créditos climáticos, fondos verdes y cooperación técnica (PNUD, 2023).

### ***Nuevos Modelos de Negocio***

A medida que el sistema energético se va modernizando es posible ir diversificando las inversiones convirtiéndose en un mercado más flexible (BID, 2024).

## Conclusiones

En Colombia, la integración de las FNCER ha presentado un progreso significativo en los últimos años, impulsado principalmente por la Ley 1715 de 2014. Sin embargo, su desarrollo aún se encuentra en una etapa inicial, y su participación en la matriz energética es mínima (2.8% en 2022). Esto genera diversos desafíos que obstaculizan y retrasan el proceso de transición energética, afectando directamente el cumplimiento de las metas de descarbonización a largo plazo (51% para 2030). Por lo tanto, el logro de estas metas dependerá del reforzamiento y la articulación de todos los factores y componentes clave del sistema energético.

Se concluye que los objetivos pactados en el PEN 2022-2052 establecen metas que varían entre neutrales, alcanzables y ambiciosas a través de sus cinco escenarios. Aunque son viables, exigen la superación de diversos desafíos a nivel estructural. Mientras que los objetivos propuestos para 2032 se alinean mejor con la situación actual del país, las metas para 2050 buscan que las FNCER sean la principal fuente dentro de la matriz energética. Específicamente, el escenario de Inflexión (escenario 3), escogido para el análisis por tener metas ambiciosas pero realizables, demandará una mejor planificación y un fortalecimiento a nivel estructural, territorial y de la capacidad institucional.

Se reconoce que, a partir de la expedición de la Ley 1715 de 2014, el marco normativo colombiano ha buscado fomentar las FNCER a través de decretos y mecanismos como las subastas de largo plazo, lo cual ha facilitado la dinamización del mercado mediante inversiones privadas. No obstante, la existencia de vacíos regulatorios, la falta de coordinación entre los actores institucionales, y una limitada ejecución de políticas con enfoque territorial son factores que han debilitado la eficacia del marco normativo actual y, en consecuencia, dilatan el cumplimiento de los objetivos de la transición energética.

Finalmente, se concluye que Colombia cuenta con una ventaja estratégica para llevar a cabo una transición energética eficiente debido a su gran potencial energético solar y eólico, respaldado por un marco institucional y el apoyo del gobierno actual. Sin embargo, en zonas de alto potencial como el Caribe y La Guajira, se han presentado desafíos sociales y ambientales debido a conflictos territoriales, la ausencia de inclusión efectiva de comunidades locales en las consultas previas, la limitada interconexión en regiones aisladas y la acumulación excesiva de proyectos en zonas específicas.

## Recomendaciones

Se recomienda establecer un mayor control de seguimiento y evaluación sobre los niveles de integración de las FNCER dentro de la matriz energética. Esto debe conducir a la definición de metas para 2030 y 2050 con un marco normativo más coherente y alineado a los objetivos de la transición energética. Es indispensable que la legislación mantenga la estabilidad en el tiempo para demostrar seriedad y compromiso con el tema, exigiendo mayor transparencia y cumplimiento del marco normativo actual.

La proyección de los próximos escenarios energéticos hacia 2034–2054 debe contar con objetivos basados en un análisis técnico meticuloso de la realidad del país. Dicho análisis debe incorporar el ritmo de integración actual, el tiempo real de puesta en marcha de los proyectos, la disponibilidad de infraestructura (como el almacenamiento), y los desafíos sociales y ambientales existentes. Esto dará lugar a una planificación con menos brechas en cada etapa de desarrollo y facilitará los esfuerzos gubernamentales para fomentar las FNCER.

Es crucial fortalecer el marco normativo mediante la actualización de normas y leyes para eliminar vacíos regulatorios que obstaculizan la implementación de FNCER. Asimismo, se debe incorporar activamente a los actores locales y al sector privado en el diseño y la implementación de políticas públicas que busquen acortar los tiempos de gestión y fortalecer el ritmo de integración de las FNCER.

Como medida prioritaria, se recomienda crear un diseño estratégico de transición energética con enfoque territorial que:

Reconozca las ventajas y potencialidades con las que cuenta cada territorio del país.

Mitigue los desafíos identificados, especialmente los conflictos sociales (mediante la consulta previa efectiva), la baja interconexión al sistema eléctrico, la concentración excesiva de proyectos en zonas de alto potencial, y la inclusión ciudadana.

Para llevar a cabo lo anterior, se debe implementar un enfoque de participación inclusivo que promueva la inversión con el fin de eliminar las brechas a nivel territorial y social, asegurando un proceso de transición energético que sea sostenible, equitativo y justo.

### Referencias Bibliográficas

- AESCOL. (n.d.). Los desafíos del hidrógeno verde en Colombia: Hacia una transición energética sostenible. *AES Colombia*. <https://www.aescol.com/es/blog/los-desafios-del-hidrogeno-verde-en-colombia-hacia-una-transicion-energetica-sostenible>
- Agencia Internacional de las Energías Renovables - IRENA. (2015). ID+D para las Tecnologías de energías renovables: Cooperación en América Latina y el Caribe. [www.irena.org](http://www.irena.org)
- Agnello, I. E. (2020). Fomento a la energía renovable en Mendoza. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-70362006000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362006000200002)
- Agronegocios. (2015). Sector azucarero, potencia en cogeneración de energía en Colombia. *Agronegocios.co*. <https://www.agronegocios.co/tecnologia/sector-azucarero-potencia-en-cogeneracion-2621227?>
- Ámbito Jurídico. (2025). UPME estableció proceso para obtener incentivos fiscales en proyectos de energía limpia. *Ámbito Jurídico*. <https://www.ambitojuridico.com/noticias/tributario/minas-y-energia/upme-establecio-proceso-para-obtener-incentivos-fiscales-en?utm>
- Arango, M. (2022). Análisis de la transición energética en los países latinoamericanos y el poder de decisión de los usuarios finales. *Universidad EIA*. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5348>
- Ayllon, B. (2010). El impulso a la Cooperación Sur – Sur en América Latina: <https://www.researchgate.net/publication/280992374>
- Barney, J. (2023). Por el mar y la tierra Guajiros vuela el viento Wayuu. [moz-extension://31cbb68a-6209-432f-a6eb-abe3a6e2e0c9/enhanced-](https://moz-extension://31cbb68a-6209-432f-a6eb-abe3a6e2e0c9/enhanced-)

reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fco.boell.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2023-04%2Fpor-el-viento-y-el-mar-guajiros.pdf

Bedoya, A. M., Tarapuez, E. D. Á., Guarín, J. C. I., Muñoz, M. D. M., Espinosa, Y. M., Ortiz, A. P. T., Quintero, S. X. C., & García, D. L. (2024). Electrificación Rural Sostenible a Partir de Potenciales Energéticos Locales – una Mirada a las Zonas No Interconectadas Colombianas. Simposio Internacional Sobre La Calidad de La Energía Eléctrica - SICEL, 11.  
<https://doi.org/10.15446/sicel.v11.110044>

Beltrán, R. (2016). Matriz energética y desarrollo sostenible en América Latina.  
<https://www.researchgate.net/publication/315245499>

BID. (2024). BID | Transición Energética en América Latina y el Caribe.  
<https://www.iadb.org/es/noticias/transicion-energetica-en-america-latina-y-el-caribe>

Cardona, M. (2022). Significados de las consultas previas para comunidades Wayuu de la media y alta guajira en proyectos de generación de energía eólica entre 2014 y 2021.  
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/6073/Informe%20final%20Investig%20Jose%20Manuel%20Cardona%20P%2029ab%202022%20VF.pdf?sequence=1&utm>  
m

Catalina, A., Castro, F., & Mojica, J. L. (2023). Informe Perspectiva Sectorial-Energía Actualidad del sector energético colombiano 28 de febrero de 2023.  
[https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/Informe%20Sectorial%20Sector%20Electrico%2024012023%20VF.pdf/6f0862d8-aacb-40fd-cc3e-0c95916bceba?utm\\_](https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/Informe%20Sectorial%20Sector%20Electrico%2024012023%20VF.pdf/6f0862d8-aacb-40fd-cc3e-0c95916bceba?utm_)

CEPAL. (2022a). Transición energética en América Latina y el Caribe: Sesión 1: Visión regional de la planificación y transición energética en América latina y el Caribe.

[https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/cepal\\_foreplen\\_la\\_transicion\\_energetica\\_alc.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/cepal_foreplen_la_transicion_energetica_alc.pdf)

CEPAL. (2022b). Proyecto de programa de trabajo del sistema de la CEPAL, 2022.

[https://www.cepal.org/sites/default/files/static/files/proyecto-programa-trabajo-cepal-2024-lc.ses\\_.39.6-esp.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/static/files/proyecto-programa-trabajo-cepal-2024-lc.ses_.39.6-esp.pdf)

Cieza, J. (2020). Marco de Bonos Verdes.

Concejo Nacional de Política Económica y Social. (2022). CONPES 4075 Política de Transición Energética. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4075.pdf>

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo - UNCTAD. (2023). Tecnología e innovación para una producción más limpia, productiva y competitiva.

<https://unctad.org/meeting/cstd-2022-2023-inter-sessional-panel>.

Congreso de la República de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Corficolombiana. (2022). Cuellos de botella en compromisos de Energías Renovables No Convencionales para 2023.

[https://investigaciones.corfi.com/documents/38211/0/Perspectiva%20Sectorial%20-%20Energ%C3%ADa%20\(Octubre%202022\)%20vf.pdf/3e360df7-fe65-b9c9-0119-432d55165966](https://investigaciones.corfi.com/documents/38211/0/Perspectiva%20Sectorial%20-%20Energ%C3%ADa%20(Octubre%202022)%20vf.pdf/3e360df7-fe65-b9c9-0119-432d55165966)

- Departamento Nacional de Desarrollo. (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?utm\\_](https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Planeacion/Paginas/energia-renovable-en-colombia-resolver-el-trilema-energetico.aspx?utm_)
- Departamento Nacional de Planeación. (2024). Hacia una sociedad movida por el sol y el viento: Los retos y avances de la transición energética justa para la superación de las brechas energéticas. <https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Planeacion/Paginas/transicion-energetica.aspx?utm>
- DIAN. (2017). Compilación Jurídica de la DIAN - Oficio 5422 de 2017 DIAN. [https://normograma.dian.gov.co/dian/compilacion/docs/oficio\\_dian\\_5422\\_2017.htm](https://normograma.dian.gov.co/dian/compilacion/docs/oficio_dian_5422_2017.htm)
- El Colombiano. (2024). Alpha y Beta, parques eólicos a los que les falta más que viento. <https://www.elcolombiano.com/negocios/alpha-y-beta-parques-eolicos-atrasados-y-en-riesgo-en-colombia-CG24669568>
- Energiminas. (2024). Industria del almacenamiento de energía requiere de incentivos gubernamentales - Energiminas. <https://energiminas.com/2024/05/31/industria-del-almacenamiento-de-energia-requiere-de-incentivos-gubernamentales/>
- Escobar, J. (2023). Ecopetrol confirmó que reactivará contratos de exploración de gas que se habían suspendido. *Infobae*. [https://www.infobae.com/colombia/2023/08/23/ecopetrol-confirmando-que-reactivara-contratos-de-exploracion-de-gas-que-se-habian-suspendido/?utm\\_](https://www.infobae.com/colombia/2023/08/23/ecopetrol-confirmando-que-reactivara-contratos-de-exploracion-de-gas-que-se-habian-suspendido/?utm_)
- Espitia, C. (2023). Cartografía de los proyectos de energía solar en Colombia. <https://indepaz.org.co/wp-content/uploads/2023/08/Cartografi%CC%81a-de-los-proyectos-de-energi%CC%81a-solar-en-Colombia.pdf>

FINDETER. (2023). Informe de Gestión y Sostenibilidad.

<https://www.findeter.gov.co/system/files/internas/Informe-anual-de-gestion-y-sostenibilidad-2022-findeter.pdf>

Gómez, V. A., Hernández, C., Rivas, E., Gómez, V. A., Hernández, C., & Rivas, E. (2018). Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid). *Scielo*, 29(2), 89–102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200089>

Guerrero Trujillo, I. E., Fernando, E. P. M., & Pardo, M. (2023). Movilidad eléctrica: retos y deficiencias enmarcadas desde la infraestructura y marco regulatorio en Colombia.

<https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/4b26ef87-9482-4fe1-bd1f-513ef696a0ea/content>

Hernández, G. (2021). Incentivos tributarios energías renovables en Colombia: Marco legal y normativo. [www.estudiolegalhernandez.com](http://www.estudiolegalhernandez.com)

Investin Colombia. (2018). Colombia y su potencial en fuentes de energía renovables, Invierta en Colombia. <https://investincolombia.com.co/es/recursos/colombia-y-su-potencial-en-fuentes-de-energia-renovables>

IPCC. (2023). Informe de síntesis del AR6 Cambio climático 2023. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

Jaime, L., Vegalara, S., Técnico, E., María, L., Aristizábal, M., Andrés, J., Caballero, V., Villanueva, J. E., Marina, R., Wilches, I., Rodrigo, C., & Urrego, Z. (2021). Diagnóstico de los conflictos derivados de la consulta previa, consultas populares y acuerdos municipales en proyectos de extracción minera e hidrocarburos.

<https://www.defensajuridica.gov.co/docs/BibliotecaDigital/Documentos%20compartidos/0390.pdf>

Kumar, N. (2017). Indicadores de la energía renovable-Experiencia del FMAM.

[https://parlamericas.org/uploads/documents/NeerajNegi\\_SPA.pdf](https://parlamericas.org/uploads/documents/NeerajNegi_SPA.pdf)

La energy Group. (2021). Advierten demoras injustificadas de la UPME en trámites para energías renovables. *Latin Energy Group*. <https://www.lenergygroup.com/advierten-demoras-injustificadas-de-la-upme-en-tramites-para-energias-renovables/>

Latin Energy Group. (2024). La UPME se prepara para conceder beneficios tributarios para una avalancha de proyectos renovables. *Latin Energy Group*. <https://www.lenergygroup.com/la-upme-se-prepara-para-conceder-beneficios-tributarios-para-una-avalancha-de-proyectos-renovables/>

Marín, J., Valencia, J., & Insuasti, J. (2022). Marco regulatorio Colombiano referente a ZNI y fuentes renovables de energía eléctrica.

[https://ipse.gov.co/documento\\_prensa/documento/documentos\\_de\\_%20investigacion/Art%C3%ADculo%20Mundoel%C3%A9ctrico.pdf](https://ipse.gov.co/documento_prensa/documento/documentos_de_%20investigacion/Art%C3%ADculo%20Mundoel%C3%A9ctrico.pdf)

Marín, R., Valencia, J., & Insuasti, J. (2022). Marco regulatorio colombiano referente a ZNI y fuentes renovables de energía.

[https://ipse.gov.co/documento\\_prensa/documento/documentos\\_de\\_%20investigacion/Art%C3%ADculo%20Mundoel%C3%A9ctrico.pdf](https://ipse.gov.co/documento_prensa/documento/documentos_de_%20investigacion/Art%C3%ADculo%20Mundoel%C3%A9ctrico.pdf)

Martínez, C. P., Alirio, V., & Santander Díaz, J. (2022). Aprendizaje profundo de las energías renovables a través del modelo de las Naciones Unidas.

Membrado, J. (n.d.). *Metodologías avanzadas para la planificación y mejora: Planificación.*

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=WSMBAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Realizar+revisiones+peri%C3%B3dicas+de+las+pol%C3%ADticas+energ%C3%A9ticas+para+ajustar+y+mejorar+las+estrategias+en+funci%C3%B3n+de+los+resultados+obtenidos+y+los+avances+tecnol%C3%B3gicos&ots=bKgz5uQ6A-&sig=YuRvVNWo3d6fQbRhCqk9Le5mDYU#v=onepage&q&f=false>

Messina, D., Contreras, R., René, L., & Pavez, S. (2022). El rol de las energías renovables en la electrificación del transporte público y privado de las ciudades de América Latina y el Caribe Impactos, desafíos y oportunidades ambientales.

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/beb7b64b-429f-4c64-98a8-bdccd7780b26/content>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Plan Nacional de Negocios Verdes 2022-2030.

<https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/plan-nacional-de-negocios-verdes/>

Ministerio de Minas y Energía. (2022). Informe de Gestión.

[https://www.minenergia.gov.co/documents/7099/Informe\\_Gestion\\_MME\\_Definitivo.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/7099/Informe_Gestion_MME_Definitivo.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2023). Con participación de la ciudadanía y del empresariado avanza el diálogo social para la Transición Energética Justa en Colombia.

<https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/con-participaci%C3%B3n-de-la-ciudadan%C3%ADa-y-del-empresariado-avanza-el-di%C3%A1logo-social-para-la-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-justa-en-colombia/>

Ministerio de Minas y Energía. (2023). Diagnóstico base para la Transición Energética Justa Presidente de la República.

[https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2.\\_Diagn%C3%B3stico\\_base\\_para\\_la\\_TEJ.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2._Diagn%C3%B3stico_base_para_la_TEJ.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Ley 1964 2019.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1964-2019.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Plan Estratégico Internacional 2023-2026.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/12/PLAN-ESTRATEGICO-INSTITUCIONAL-PEI-2023-2026-MINAMBIENTE-1.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). Informe de Gestión Sector Ambiente.

[https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2024/01/Informe-de-Gestion\\_Sector-Ambiente\\_2023\\_-VF..pdf?utm\\_](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2024/01/Informe-de-Gestion_Sector-Ambiente_2023_-VF..pdf?utm_)

Ministerio de Minas y Energía. (2021a). Hoja de ruta para el hidrógeno en Colombia.

<https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/enlace-ruta-hidrogeno/>

Ministerio de Minas y Energía. (2021b). Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia. [www.laimprentaeditores.com](http://www.laimprentaeditores.com)

Ministerio de Minas y Energía. (2023b). Informe de rendición de Cuentas.

[https://www.minenergia.gov.co/documents/11068/Informe\\_de\\_Rendicion\\_de\\_Cuentas\\_Nov2023.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/11068/Informe_de_Rendicion_de_Cuentas_Nov2023.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2023c). Ministerio de Energía estructura con Asobancaria iniciativas para acelerar la Transición Energética Justa en Colombia. <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/ministerio-de-energ%C3%ADa-estructura-con-asobancaria-iniciativas-para-acelerar-la-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-justa-en-colombia/>

Ministerio de Minas y Energía. (2024). Segundo reporte: Monitoreo, reporte y verificación (MRVme) de Mitigación de emisiones GEI.

[https://www.minenergia.gov.co/documents/11533/Segundo\\_reporte\\_del\\_sistema\\_MRVme\\_2021.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/11533/Segundo_reporte_del_sistema_MRVme_2021.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2025a). Catálogo Tecnológico Colombiano Tecnologías de generación y almacenamiento de energía. <https://minenergia.gov.co/documents/13276/Catalogo-Tecnologico-Colombiano-tecnologias-generacion-almacenamiento-energia-ES.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (2025b). Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa de Colombia. [https://minenergia.gov.co/documents/13272/Hoja\\_de\\_ruta\\_transicion\\_energetica\\_justa\\_TEJ\\_2025.pdf](https://minenergia.gov.co/documents/13272/Hoja_de_ruta_transicion_energetica_justa_TEJ_2025.pdf)

Mora, S., & Quicaza, A. (2021). Formulación de estrategias para la implementación y fomento de fuentes no convencionales de energías renovables en zonas no interconectadas de Colombia. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/0b74a6e3-a410-4e6e-ac96-a7e7a30463a5/content>

Naciones Unidas. (2016). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. [www.un.org/sustainabledevelopment/es](http://www.un.org/sustainabledevelopment/es)

Naciones Unidas. (2017). OMS alerta de la muerte anual de 1,7 millones de niños debido a la contaminación ambiental - Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/03/oms-alerta-de-la-muerte-anual-de-17-millones-de-ninos-debido-a-la-contaminacion-ambiental/>

OCDE. (2022). Estudios Económicos de la OCDE COLOMBIA.

[https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2022/02/oecd-economic-surveys-colombia-2022\\_82e4759f/991f37df-es.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2022/02/oecd-economic-surveys-colombia-2022_82e4759f/991f37df-es.pdf)

Ospina, P. (2018). Contribución de las energías renovables no convencionales al sistema de gestión

integral de energía en Colombia. <https://repository.uamerica.edu.co/items/6947ba6a-80b5-4433-b075-6ff1c7a3d2f9>

Plan Nacional de Desarrollo - PND. (2023). El Plan Nacional de Desarrollo marca la ruta de la

transición energética del país. [https://www.dnp.gov.co/Prensa\\_/Noticias/Paginas/el-plan-nacional-de-desarrollo-marca-la-ruta-de-la-transicion-energetica-del-pais.aspx?utm\\_](https://www.dnp.gov.co/Prensa_/Noticias/Paginas/el-plan-nacional-de-desarrollo-marca-la-ruta-de-la-transicion-energetica-del-pais.aspx?utm_)

PNUD. (2023). Informe anual Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

<https://www.undp.org/es/colombia/publicaciones/informe-anual-pnud-colombia-2023>

Prieto, N., & Bravo, N. (2024). Parques eólicos y la “guerra” por el viento en La Guajira. Consonante.

<https://consonante.org/noticia/parques-eolicos-y-la-guerra-por-el-viento-en-la-guajira/>

Resource Consultants, M. (2010). Recursos de capacitación en energía renovable: estudio y evaluación.

[www.cec.org](http://www.cec.org)

Reyes, R., Hoyos, Á. T., Piñeros, M. C., Paola, J., & Buitrago, D. (2023). Análisis de Políticas Públicas

para la adopción de energías renovables no convencionales en Colombia. *Cuadernos*

*Latinoamericanos De Administración*, 19(36). <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v19i36.4052>

Ríos, S. (2024). Incumplimiento de los acuerdos de consulta previa: reflexiones sobre las barreras y

consecuencias jurídicas en el sector energético.

<https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/3f63c79b-e29c-4c17-96f1-8a09052c17a7>

Sandoval, Y. (2024). La energía renovable se disparó en Colombia para 2024. *Valoraanalitik*.

<https://www.valoraanalitik.com/la-energia-renovable-se-disparo-en-colombia-para-2024/>

Secretaría de Estado de Energía. (2021). Estrategia de almacenamiento energético.

[https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/prensa/estrategiaalmacenamiento\\_tcm30-522655.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/prensa/estrategiaalmacenamiento_tcm30-522655.pdf)

SEI. (2023). Energía eólica y comunidades Wayuu: Retos en La Guajira. *SEI*.

<https://www.sei.org/features/energia-eolica-y-comunidades-wayuu-retos-en-la-guajira/>

SER Colombia. (2023a). Balance 2023: El país logra una capacidad FNCER para atender el consumo de un millón de colombianos. <https://www.energiaestrategica.com/wp-content/uploads/2024/01/DOCUMENTO-PORTAFOLIO-V2-1.pdf>

SER Colombia. (2023b). Proyectos de energías renovables 2023-2024. [https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2023/05/REVISTA-2.pdf?utm\\_](https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2023/05/REVISTA-2.pdf?utm_)

SER Colombia. (2024). Boletín renovable: en 2024 se cuadruplicó la generación de energías renovables.

[https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2024/12/Ser\\_Colombia\\_INFORME\\_Dic.pdf](https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2024/12/Ser_Colombia_INFORME_Dic.pdf)

SER Colombia. (2025). Fuentes no Convencionales de Energías Renovable (FNCER) en 2025.

<https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2025/02/informefeb2025.pdf>

UPME. (2016). Invierta y Gane con Energía Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014.

UPME. (2020a). Plan Energético Nacional 2020 - 2050 Noviembre 2020 Tomo 1: Cambios en la forma de planear el sector energético.

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2020\\_2050/Presentacion\\_PE](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Presentacion_PE)

N\_Tomo\_1.pdf [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2020\\_2050/Pr  
esentacion\\_PEN\\_Tomo\\_1.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Pr<br/>esentacion_PEN_Tomo_1.pdf)

UPME. (2020b). Plan Energético Nacional 2020- 2050.

[https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN\\_documento\\_para\\_consulta.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf)  
[https://www  
1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN\\_documento\\_para\\_consulta.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf)

UPME. (2021a). Actualización Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052.

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2020\\_2050/Plan\\_Energetico\\_  
Nacional\\_2020\\_2050.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_<br/>Nacional_2020_2050.pdf)

UPME. (2021b). Plan Energético Nacional 2020-2050: La transformación energética que habilita el  
desarrollo sostenible.

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2020\\_2050/Plan\\_Energetico\\_  
Nacional\\_2020\\_2050.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_<br/>Nacional_2020_2050.pdf)

UPME. (2023). Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2023-2037.

[https://www1.upme.gov.co/siel/Plan\\_expansin\\_generacion\\_transmision/Plan\\_indicativo\\_expansi  
on\\_de\\_la\\_generacion\\_actu\\_2023\\_2037.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Plan_expansin_generacion_transmision/Plan_indicativo_expansi<br/>on_de_la_generacion_actu_2023_2037.pdf)

UPME. (2024a). Actualización Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052 Tomo I.

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2022\\_2052/PEN\\_2022\\_2052  
\\_Tomo1\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/PEN_2022_2052<br/>_Tomo1_VF.pdf)

UPME. (2024b). Boletín de la Unidad de Planeación Minero energética. 15.

[https://www1.upme.gov.co/Documents/Boletin\\_NODO\\_6ta\\_edicion\\_Abril\\_2024.pdf?utm\\_](https://www1.upme.gov.co/Documents/Boletin_NODO_6ta_edicion_Abril_2024.pdf?utm_)

UPME. (2024c). Informe de Registro de Proyectos de Generación (corte a noviembre 30 de 2024).

[https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion\\_proyectos\\_generacion/Registro\\_noviembre\\_2024.pdf](https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_noviembre_2024.pdf)

UPME. (2024d). Informe de Gestión 2023.

[https://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Informe\\_de\\_Gestion\\_2023.pdf?utm\\_](https://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Informe_de_Gestion_2023.pdf?utm_)

UPME. (2025a). Boletín Estadístico de Minas y Energía 2020-2024.

[https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Boletin-estadistico/Boletin\\_Estadistico\\_2020-2024\\_S1VF\\_Abril\\_VFD-07abr25.pdf](https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Boletin-estadistico/Boletin_Estadistico_2020-2024_S1VF_Abril_VFD-07abr25.pdf)

UPME. (2025b). Plan Energético Nacional 2024-2054 Versión Preliminar.

[https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/estudio\\_eficiencia\\_energetica\\_alc\\_cepal.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/estudio_eficiencia_energetica_alc_cepal.pdf)

Urbano, D., Beltrán, G., & Roldán, A. (2023). Energías renovables en Colombia: Viabilidad, desarrollo y potencial de implementación para la diversificación de la matriz energética del país.

<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/11046/Energ%C3%ADas%20renovables%20en%20Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vanegas Chamorro, M., Villicaña Ortiz, E., & Viana, L. A. (2015). Quantification and characterization of solar radiation at the department of La Guajira-Colombia by calculating atmospheric transmissivity. 13, 54–63. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i2.487>

Vanegas, M., Churio, O., Valencia, G., Villicaña, E., & Ospino, A. (2017). Cálculo de las radiaciones total, directa y difusa a través de la transmisibilidad atmosférica en los departamentos del Cesar, La Guajira y Magdalena (Colombia). *Revista ESPACIOS*, 38(07).

<https://www.revistaespacios.com/a17v38n07/17380703.html>

- Vargas, I., & Dermer, M. (2022). Las patentes verdes como un eslabón para fomentar la innovación en las energías renovables. *Jurídicas CUC*, ISSN 1692-3030, ISSN-e 2389-7716, Vol. 18, N° 1, 2022 (Ejemplar Dedicado a: *Jurídicas CUC 2022*; 217–240), Págs. 447-476, 18(1), 447–476. <https://doi.org/10.17981/juridcuc.18.1.2022.18>
- Vargas, J. (2017a). Análisis de implementación de cátedra de energías renovables en escuelas. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/239>
- Vargas, J. (2017b). Análisis de implementación de cátedra de energías renovables en escuelas. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/239>
- Vásquez, M. (2022). Energía solar en Colombia. <https://www.creg.gov.co/capacidad-efectiva-neta>
- Vega Araújo, J. A., & Muñoz Cabré, M. (2023). Energía solar y eólica en Colombia: panorama y resumen de políticas 2022. <https://doi.org/10.51414/SEI2023.016>
- Vera, E. (2018). Propuesta de un modelo de cooperativa en comunidades aisladas para electrificación rural económica: mediante sistema modular de energías renovables, eólico y solar. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/164018>
- World Meteorological Organization. (2024). Global temperature is likely to exceed 1.5 °C above pre-industrial level temporarily in next 5 years. <https://wmo.int/news/media-centre/global-temperature-likely-exceed-15degc-above-pre-industrial-level-temporarily-next-5-years>
- WWF Energy Nature. (2023). Coalición internacional destaca los impactos positivos de la transición energética en la naturaleza. *WWF*. <https://www.wwf.org.co/?382451/Coalicion-internacional-destaca-los-impactos-positivos-de-la-transicion-energetica-en-la-naturaleza>

