



Unidad de Planeación
Minero Energética



20
26

Plan Energético **Nacional** 2025-2055

Tomo I





© UPME

Av. Calle 26 # 69 D-91 Torre 1 - Piso 9

Bogotá - Colombia

Tel.: +57 6012220601

upme.gov.co

Ministro de Minas y Energía

Edwin Palma Egea

Director General (E) UPME

Manuel Peña Suárez

Subdirectora de Demanda

Johanna Castellanos

Jessica Arias Gaviria

Subdirección de Energía Eléctrica

Subdirección de Hidrocarburos

Subdirección de Minería

Colaboradores UPME

Héctor Hernando Herrera Florez

Ingrid Gissella Quiroga Mojica

Juan Francisco Martínez

María Alejandra Bermúdez Rodríguez

Olga Victoria González González

Ruth Adriana Navas Contreras

William Alberto Martínez Moreno

Asesores externos (Modelación de escenarios)

David Fernando Romero Quete

John Alexander Sánchez Soto

Paula Natalia Riveros Melo

Sofía Delgado

Asesores externos (Planes estratégicos)

Andrea Lache Muñoz

Angela Patricia Torres Luna

Bolívar Andrés Monroy Matallana

Cristian David Rodríguez Reyes

Daniel Restrepo Soto

David Andrés Serrato Tobón

Elkin Eduardo Ramírez Prieto

Erika Johanna Flores Chala

Laura Flechas Mejía

Maria Paula Corrales Mendoza

Mariana Sofia Morales Ortiz

Maryeni Karina Enríquez Enríquez

Mónica María Rueda Vega

Russby Liliana Castañeda

Stefanny Alexandra Bermúdez Jiménez

Verónica Ortiz Cerón

Asesores externos (Enfoque territorial)

Andrés Felipe Duarte Rodríguez

John Edinson Enríquez Ochoa

Equipo de comunicaciones UPME

Asesora de comunicaciones

Linda Cárdenas Ramírez

Diagramación y diseño

Diego Peñaranda

Tabla de contenido

1. PLANEACIÓN ENERGÉTICA A LARGO PLAZO	7
1.1. ¿Qué es el Plan Energético Nacional (PEN)?	7
1.2. ¿Para qué le sirve el PEN al país?	7
1.3. ¿Cuáles son los pilares del PEN 2025- 2055?	8
Pilar 1. Seguridad y Confiabilidad Energética	8
Pilar 2. Sostenibilidad y Carbono Neutralidad.....	8
Pilar 3. Competitividad y Desarrollo Económico.....	8
Pilar 4. Inclusividad y Justicia	8
1.4. Enfoque de continuidad y Objetivos del PEN.....	9
1.5. Visión de largo plazo: Competitivo, confiable, inclusivo y carbono neutral, un marco estratégico para la transición energética:	16
1.6. Enfoque de planeación estratégica para la transición energética.....	17
2. DEMANDA Y OFERTA DE ENERGÍA EN EL MARCO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA	20
Contexto Internacional.....	20
Trayectoria climática y emisiones de GEI	25
Contexto Nacional.....	29
2.1. ¿Qué consumimos? Análisis del consumo de energéticos en Colombia: evolución histórica, tendencias actuales y desafíos futuros	30
Sector Transporte.....	32
Sector Industrial.....	33
Sector Residencial.....	35
Sector Terciario	37
2.2. ¿Con qué recursos contamos? Análisis de la oferta primaria y exportaciones de energéticos en Colombia: evolución histórica, tendencias actuales y desafíos futuros	41
3. ENERGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO.....	53
3.1. Reporte Emisiones Gases Efecto Invernadero (GEI).....	54
3.2. Acciones de mitigación del cambio climático	58
7. DEMOCRATIZACIÓN DE LA PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA.....	62
7.1. Etapas del proceso participativo en la formulación del PEN 2025- 2055	64
Etapas 1. Identificación de apuestas estratégicas:.....	65
Etapas 2.Construcción y validación de los objetivos	67
Etapas 3. Análisis de entorno.....	68
Etapas 4. Conceptualización de escenarios.....	70
Etapas 5. Resultados y socialización del PEN	71
8. ANÁLISIS DE ENTORNO DEL PEN 2025- 2055.....	73

8.1. Factores estructurantes externos priorizados	73
8.2. Factores estructurantes externos	74
Factores políticos y legales externos.....	75
Factores económicos externos	78
Factores sociales externos	81
Factores tecnológicos externos.....	84
Factores ambientales externos	87
9. FORMULACIÓN DE ESCENARIOS DEL PEN 2025- 2055 ¿CÓMO AVANZAMOS HACIA LA VISIÓN PROPUESTA?	90
9.1. Cambios en el modelamiento energético de largo plazo: virtudes y limitantes ...	90
9.2. Visión consensuada de los escenarios energéticos	92
¿Qué son los escenarios energéticos?	92
Escenarios Energéticos PEN 2025- 2055.....	94
10. PLANES ESTRATÉGICOS DEL PEN 2025- 2055.....	102
¿Cuál es el nuevo enfoque de implementación?.....	102
Alineación de los Planes Estratégicos con las medidas de mitigación de la NDC.....	103
4. REGIONALIZACIÓN DEL PLAN ENERGÉTICO NACIONAL 2025-2055.....	105
Descripción de las regiones	105
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
11. ANEXO 1. ANÁLISIS NORMATIVO VIGENTE PARA LOS PLANES ESTRATÉGICOS	115
Plan Estratégico - Eficiencia Energética	115
Plan Estratégico - Diversificación Energética	122
Plan Estratégico - Movilidad Sostenible	130
Plan Estratégico - Infraestructura Energética	135
Plan Estratégico - Industrialización.....	140
ANEXO 2. POLÍTICAS, REGULACIONES, HOJAS DE RUTA, Y ESTRATEGIAS CONSIDERADAS PARA CADA ESCENARIO	144

INTRODUCCIÓN

El Plan Energético Nacional (PEN) es un ejercicio prospectivo a largo plazo (30 años) que propone diferentes escenarios para la producción y consumo de energía, con metas y acciones prioritarias para el desarrollo energético integral del país, en línea con los principios de una Transición Energética Justa (TEJ).

La planeación energética de largo plazo brinda al país un marco para decidir, con base en evidencia, cuáles son las rutas más costo eficientes hacia un sistema energético confiable, resiliente, sostenible e incluyente. En un entorno de cambios climáticos, tecnológicos y geopolíticos acelerados, la visión que propone el PEN permite reducir la incertidumbre, anticiparse a los riesgos, y fortalecer la resiliencia del sistema energético.

Desde su primera versión en 2003, el PEN se ha consolidado como el principal instrumento indicativo de planeación energética de largo plazo liderado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Su objetivo no es pronosticar el futuro, sino orientar decisiones estratégicas con base en la información disponible y los escenarios prospectivos. Cada versión del PEN parte de una revisión crítica del plan anterior y de los nuevos retos, integrando aprendizajes, tecnologías emergentes, marcos regulatorios y compromisos internacionales, como el Acuerdo de París y la Ley de Acción Climática (Ley 2169 de 2021), que establece como meta la carbono neutralidad para 2050.

El PEN 2025–2055 establece por primera vez escenarios alineados con la meta de carbono neutralidad propuesta por la NDC, articulando una visión de transición energética justa, construida con un enfoque participativo e incluyente. Se encuentra estructurado en torno a cuatro pilares: La competitividad, la confiabilidad, la inclusión y la carbono neutralidad. Para lograrlo, el Plan formula seis planes estratégicos: eficiencia energética, diversificación energética, infraestructura energética, movilidad sostenible, industrialización e innovación y desarrollo.

Este tomo del Plan Energético Nacional (PEN) 2025–2055 presenta los fundamentos conceptuales y metodológicos que orientan la nueva visión de largo plazo del sistema energético colombiano. Se estructura en apartados, iniciando con una revisión y análisis del estado histórico y actual del sistema energético colombiano, sus retos y oportunidades frente a la transición energética, y presenta el nuevo enfoque de planeación estratégica del PEN 2025–2055.

1. PLANEACIÓN ENERGÉTICA A LARGO PLAZO

1.1. ¿Qué es el Plan Energético Nacional (PEN)?

El Plan Energético Nacional (PEN) es un ejercicio de planeación prospectiva de largo plazo, con un horizonte de 30 años que propone las metas, políticas y acciones prioritarias para el desarrollo energético integral de Colombia. Su propósito es orientar la evolución del sistema energético nacional de manera coherente con los objetivos económicos, sociales, ambientales y tecnológicos del país, reconociendo el papel estratégico que cumple la energía como habilitador del desarrollo.

El alcance del PEN trasciende el sector energético puesto que busca incidir de manera transversal en ámbitos como la economía, la educación, la salud, la infraestructura y el ambiente. En este sentido, el PEN guía la toma de decisiones gubernamentales, promueve el uso eficiente de los recursos energéticos y contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de la población, al orientar decisiones que aseguren un suministro de energía confiable, sostenible, equitativo y justo.

Es el principal instrumento de planificación energética de largo plazo del país y es liderado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Desde sus primeras versiones, disponibles desde 2003, el Plan se ha consolidado como una herramienta indicativa que no busca predecir el futuro, sino orientar decisiones estratégicas a partir de información actual, análisis técnico-económico y ejercicios prospectivos.

1.2. ¿Para qué le sirve el PEN al país?

La planeación energética de largo plazo constituye un marco de referencia fundamental para la toma de decisiones basadas en evidencia técnico-económica y construidas en consenso con la sociedad, sobre las posibles rutas para alcanzar un sistema energético confiable y eficiente. A su vez, permite fomentar la equidad social y económica, y afrontar de manera estructurada los desafíos nacionales asociados al desarrollo energético.

En un entorno caracterizado por cambios tecnológicos acelerados, volatilidad de los mercados energéticos, impactos crecientes del cambio climático y transformaciones en los patrones de demanda, contar con una visión de largo plazo resulta esencial para reducir la incertidumbre, fortalecer la resiliencia del sistema energético y preparar al país para enfrentar los retos del futuro. Así el PEN permite abordar de manera ordenada tanto los riesgos como las oportunidades que surgen en el contexto de la transición energética.

1.3. ¿Cuáles son los pilares del PEN 2025- 2055?

Los pilares del PEN 2025- 2055 representan las áreas estratégicas sobre las cuales deben orientarse y sustentarse los esfuerzos de política pública, en continuidad con los lineamientos establecidos en el PEN 2022-2052, e integrando un enfoque de inclusión y justicia. Estos pilares constituyen las áreas clave para que la política pública promueva y dinamice las acciones del sector privado, la academia, la ciudadanía y otros actores relacionados. Los cuatro pilares que sostienen la visión del PEN 2025- 2055 son:

Pilar 1. Seguridad y Confiabilidad Energética

- **Resultado estratégico:** Suministro seguro y confiable de energéticos para la satisfacción de las necesidades de la demanda nacional
- **Alcance:** Contar con un sistema energético que tenga la capacidad de abastecer, transportar y distribuir los energéticos requeridos para satisfacer la demanda de manera segura, confiable, flexible, y asequible.

Pilar 2. Sostenibilidad y Carbono Neutralidad

- **Resultado Estratégico:** Cumplimiento de las metas de mitigación y capacidad de adaptación del sistema energético ante la variabilidad climática.
- **Alcance:** Promover cambios para que el sistema energético contribuya al cumplimiento de los compromisos climáticos del país en la reducción de emisiones de GEI y otros contaminantes, a la vez que fortalece la capacidad de adaptación ante la variabilidad climática, y habilita la descarbonización de otros sectores.

Pilar 3. Competitividad y Desarrollo Económico

- **Resultado Estratégico:** Uso eficiente y menores costos de los recursos energéticos a través de la mejor tecnología disponible que impulse el desarrollo de nuevas industrias y economías locales.
- **Alcance:** Consolidar un entorno de mercado que integre nuevas tecnologías y uso de energéticos, con miras a mejorar la competitividad, aportar al desarrollo económico del país, a la creación de empleos y establecimiento de nuevas cadenas de valor, mediante un uso eficiente y productivo de los recursos energéticos.

Pilar 4. Inclusividad y Justicia

Resultado Estratégico: Integración de una visión equitativa y justa de las necesidades, oportunidades y conocimientos de los actores involucrados, promoviendo un rol activo en la participación de los mismos.

Alcance: Promover una planeación del sector energético que asegure la participación y articulación efectiva de todos los actores involucrados en los cambios de la cadena de valor del sector energético.

1.4. Enfoque de continuidad y Objetivos del PEN

El PEN se concibe como un instrumento de planeación indicativa, integral, permanente y coordinada con los agentes del sector minero-energético, en concordancia con el Plan Nacional de Desarrollo. De acuerdo con el Decreto 2121 de 2023, la UPME tiene como objeto planear el desarrollo y aprovechamiento de los recursos mineros y energéticos, producir y divulgar información para la formulación de política pública y apoyar al Ministerio de Minas y Energía en el logro de sus objetivos. En particular, la Subdirección de Demanda es responsable de elaborar y actualizar el Plan Energético Nacional de manera articulada con las Subdirecciones de Energía Eléctrica y de Hidrocarburos y con los agentes sectoriales.

Cada nueva versión del PEN parte de un análisis del plan anterior, de la realidad energética del país y del contexto global, bajo un enfoque de continuidad y coherencia en la política pública. Esta lógica permite integrar los aprendizajes acumulados en ejercicios previos de planeación, así como incorporar de manera progresiva los desafíos emergentes.

La construcción evolutiva asegura que el Plan se actualice de forma constante, contemplando aspectos que anteriormente no habían sido considerados, como la incorporación de nuevas tecnologías, la adaptación a cambios en los marcos regulatorios y los compromisos internacionales. De esta manera, las estrategias energéticas evolucionan de forma gradual, integrando los esfuerzos ya realizados y permitiendo abordar retos como la descarbonización del sistema energético, la diversificación de la matriz energética y la democratización del acceso a la energía.

Para hacer frente a estos retos de manera articulada y medible, el PEN estructura sus propósitos en un sistema interrelacionado de objetivos.

Sus objetivos se encuentran interrelacionados entre ellos e incluyen las metas mediante las que se alcanzaría la visión. Por un lado, se encuentran los objetivos transversales, orientando los objetivos habilitadores (parte central del diagrama) y de resultados sociales y económicos que dan cuenta del desarrollo sostenible. En este sentido, los objetivos son una serie de acciones evaluables que permiten medir el grado de avance en la consecución de los resultados estratégicos planteados en los pilares y la visión del PEN.

Objetivo 1. Preparar al país para responder a los impactos de la transición energética global y nacional en la economía de Colombia y sus regiones, mediante la formulación de instrumentos de política integral.

Este objetivo se enmarca en el fortalecimiento de las capacidades del país para responder a los impactos de la transición energética, que implica una transformación profunda en los sistemas energéticos globales y nacionales, orientada a reducir la

dependencia energética y económica de los combustibles fósiles y, al mismo tiempo, aumentar la generación de energía baja en emisiones.

Para Colombia, la transición energética representa un desafío en doble vía. El sector energético nacional es altamente dependiente de los combustibles fósiles, por lo tanto, la transición implica un conjunto de acciones necesarias de descarbonización a 2050. Sin embargo, actualmente los combustibles fósiles también representan la mayor fuente de exportaciones. De ese modo, para que esta transición sea ordenada, efectiva y justa, es crucial que ambos procesos se sincronicen cuidadosamente y que se analice bajo criterios económicos y análisis beneficio costo.

Implementar este cambio en el modelo económico es un proceso complejo, que requiere la coordinación de actores diversos y el fortalecimiento de un sector energético que soporte la descarbonización de otros sectores y que impulse el desarrollo económico y social para las regiones. La visión del PEN 2025- 2055, permite preparar al país para estos desafíos, formulando escenarios integrales que identifican los posibles cambios en la cadena de valor energética.

Objetivo 2. Promover una transición energética inclusiva y justa, a través de un sistema energético que apoye la protección ambiental y el desarrollo social y económico de las comunidades, asegurando la participación y articulación efectiva de todos los actores que pueden verse involucrados por los cambios de la cadena de valor del sector energético.

Este objetivo busca orientar la planeación a largo plazo hacia un modelo inclusivo y justo, en el cual las personas y sus necesidades se sitúen en el centro de la transición energética. Ello comprende el cambio hacia energías de bajas emisiones, la descarbonización, la digitalización y eficiencia energética, y la descentralización del sistema energético.

La participación de comunidades locales, representantes de la industria, trabajadores y sindicatos del sector minero energético, usuarios finales de la energía y organizaciones de la sociedad, mediante herramientas como el diálogo social y procesos de consulta y socialización transparentes durante todas las fases de construcción del plan —desde el diagnóstico hasta su socialización y difusión—, busca garantizar que las partes interesadas tengan una influencia real en los resultados de las políticas, asuman responsabilidades claras y que los responsables de la planeación a largo plazo mantengan un compromiso continuo con sus necesidades y expectativas.

En este sentido, el Plan Energético Nacional (PEN) 2025- 2055 establece un marco estratégico que busca no solo reducir las emisiones del sector energético, sino también fomentar un desarrollo social y económico que integre a las comunidades locales y a diversos actores en cada etapa de la transición, garantizando la protección y sostenibilidad ambiental. Este enfoque permite que el sector avance hacia la carbono-neutralidad e incorpora la inclusividad y la justicia como ejes transversales, con el fin de fortalecer la efectividad de las políticas energéticas y climáticas y promover su aceptación y aplicabilidad a largo plazo.

Objetivo 3. Garantizar el suministro energético y satisfacer la demanda de energía de manera confiable, segura y flexible, mediante estrategias integrales de planeación que permitan un equilibrio entre la oferta y la demanda, asegurando la asequibilidad, resiliencia y competitividad en toda la cadena de valor de la energía.

Con este objetivo se busca asegurar que la energía requerida por el país esté disponible de manera confiable y asequible, garantizando que el sistema energético sea resiliente frente a los diferentes fenómenos climáticos que enfrenta Colombia, los cuales podrían intensificarse debido al cambio climático. Para lograrlo, es fundamental diversificar la matriz energética del país mediante la adopción y el desarrollo de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) y tecnologías modernas.

El desarrollo de una planeación energética permite proyectar una demanda alineada con las necesidades del país, optimizando el uso de los recursos disponibles. La incorporación de nuevas fuentes de energía más limpias y eficientes contribuye a la reducción de costos a lo largo de toda la cadena de valor. Esto facilita el acceso equitativo a la energía para toda la población y posiciona a Colombia dentro de los estándares globales de sostenibilidad energética y competitividad en costos.

Objetivo 4. Optimizar el uso de recursos energéticos en todos los sectores económicos mediante la adopción y promoción de tecnologías avanzadas con mejores desempeños energéticos, la sustitución de energéticos y la implementación de buenas prácticas de operación; priorizadas en el PAI PROURE vigente.

Este objetivo busca promover un uso eficiente, sostenible y equitativo de los recursos energéticos, maximizando su aprovechamiento, minimizando las pérdidas y reduciendo costos.

Al optimizar el uso de los recursos energéticos, se fomenta la equidad energética, con ello se promueve el acceso de todas las personas a tecnologías y energías cada vez más eficientes. La implementación de tecnologías avanzadas y de buenas prácticas, impulsa la modernización del sistema energético y permite dar cumplimiento a las metas indicativas de eficiencia energética establecidas en el Plan Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PAI PROURE). Este enfoque requiere la colaboración activa de todos los sectores económicos, por lo que impulsa la exploración de sinergias y fomenta el desarrollo de soluciones innovadoras.

Objetivo 5. Desarrollar un sistema energético adaptado a los efectos del cambio climático, mediante un enfoque anticipatorio que considere la gestión del riesgo climático y las particularidades sociales, ecológicas y territoriales.

Este objetivo busca impulsar el desarrollo de un sistema energético resiliente y adaptado a los efectos del cambio climático mediante una planeación de largo plazo que incorpore estrategias anticipatorias y de gestión del riesgo climático. La adaptación es clave para garantizar la seguridad energética en un contexto de aumento de temperaturas, cambios en los patrones de precipitación y eventos climáticos extremos, asegurando que el sistema energético pueda prever, absorber y recuperarse de estos impactos (IPCC, 2012).

En línea con el principio de acción climática justa, el PEN prioriza la protección de grupos vulnerables, la conservación de los ecosistemas y la equidad en la distribución de costos y beneficios de las políticas climáticas (CR2, 2021). Para ello, adopta un enfoque anticipatorio que considere las particularidades de cada territorio, integrando la evidencia científica, el conocimiento local y la transparencia en la toma de decisiones.

Este enfoque se alinea con el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Minero-Energético (PIGCCme), que enfatiza la necesidad de fortalecer la resiliencia del sistema energético mediante la evaluación de riesgos climáticos, la diversificación de fuentes y la integración de soluciones basadas en la naturaleza. A nivel de gobernanza, promueve la incorporación de criterios de riesgo climático en la planeación sectorial y la articulación entre actores públicos, privados y territoriales.

De esta manera, el PEN no solo busca aportar a la reducción de las vulnerabilidades del sistema energético, sino que también impulsa un modelo de gobernanza inclusivo y responsable que respalda la transición hacia un sistema de bajas emisiones, contribuyendo a los compromisos del Acuerdo de París y a la resiliencia socio-ecológica del país (MinAmbiente, 2021).

Objetivo 6. Diversificar la canasta de energéticos, según el potencial de recursos del país, a través del aumento en la participación de fuentes no convencionales de energía, y la reducción gradual en el uso de los combustibles fósiles en los diferentes sectores, consolidando un sistema energético que permita cumplir con los compromisos climáticos de Colombia a nivel internacional.

Este objetivo busca que el país avance hacia una diversificación de la canasta de energéticos de Colombia según su potencial de recursos, promoviendo un aumento en la participación de fuentes no convencionales de energía y una reducción gradual en el uso de combustibles fósiles en todos los sectores. Con ello, se pretende consolidar un sistema energético más resiliente y alineado con los compromisos climáticos internacionales del país.

Se hace necesario impulsar un aprovechamiento integral de los recursos energéticos renovables nacionales, con el fin de incorporar a la matriz energética para reducir las emisiones del sector. La diversificación no se limita únicamente a la generación de electricidad con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), sino que también abarca el desarrollo de soluciones para procesos térmicos y nuevos combustibles, promoviendo el impulso de bioenergía, hidrógeno de bajas emisiones, y combustibles sintéticos y sostenibles como el SAF (Sustainable Aviation Fuel).

Esta estrategia de diversificación no solo fortalece la seguridad energética del país, sino que también mejora su capacidad de adaptación frente a fenómenos climáticos extremos, como El Niño, y a los retos de largo plazo de la transición energética. Además, permite reducir la demanda y dependencia de combustibles fósiles en sectores estratégicos como el transporte, la industria y el sector residencial.

Objetivo 7. Fomentar la transformación del sector minero energético mediante la inversión en investigación, desarrollo y apropiación de tecnologías y capacidades de capital humano compatibles con los recursos y necesidades de Colombia.

Este objetivo busca habilitar la transformación del sector minero-energético mediante el fomento en investigación, desarrollo y apropiación de tecnologías y capacidades de capital humano, garantizando que estos avances sean compatibles con los recursos y necesidades de Colombia. Para lograrlo, es fundamental fortalecer la articulación entre el sector académico, las empresas, las entidades públicas y las comunidades, promoviendo una formación técnica y profesional alineada con los desafíos de la transición energética. Esto permitirá impulsar un sistema energético confiable, competitivo e inclusivo, donde la sostenibilidad y la justicia sean ejes centrales.

La apropiación tecnológica juega un papel clave en este proceso, ya que no basta con desarrollar nuevas tecnologías si estas no son comprendidas, utilizadas y adaptadas por los diferentes actores del sector. Para que la transformación del sector tenga un impacto real, es fundamental fortalecer la transferencia de conocimiento, la capacitación y el desarrollo de capacidades locales, permitiendo que comunidades, empresas y gobiernos adopten soluciones de manera efectiva.

Sin embargo, la transformación del sector minero-energético no depende solo del avance tecnológico, sino también de un enfoque de innovación social, que promueva nuevas formas de organizar, gestionar y democratizar el acceso a la energía. La combinación de innovación tecnológica y social permite desarrollar modelos de negocio flexibles y esquemas de gobernanza participativa, asegurando que la transición energética no solo sea viable y eficiente, sino también inclusiva y equitativa para toda la sociedad.

Objetivo 8. Promover la diversificación económica del país a través de la reindustrialización y transformación productiva gradual y sostenible, impulsada por el sector energético, que fortalezca las economías locales, contribuya a la reconversión laboral, y fomente el desarrollo económico y social equitativo, adaptado a las oportunidades y necesidades de cada territorio.

Con este objetivo, el PEN 2025- 2055 busca promover una diversificación económica que le permita a Colombia transitar gradualmente de una economía basada en la extracción de recursos naturales hacia una economía del conocimiento, tecnológica, productiva y sostenible (DNP, 2023). Esta diversificación se concibe como la expresión productiva de la transición energética, en la que se fortalece el desarrollo de economías locales, la reconversión laboral y el crecimiento económico y social equitativo, adaptado a las oportunidades y necesidades específicas de cada territorio.

Es necesario comprender que la Transición Energética Justa tiene el potencial para impulsar la diversificación económica, y con ello, reducir la exposición a la volatilidad de los precios de las materias primas, y los riesgos de depender excesivamente de unos limitados recursos naturales. Además, fortalecer la diversidad económica

contribuye a la creación de empleos de calidad que no se basen exclusivamente en el sector extractivo, con lo que se construye una economía más resiliente frente a cambios en el mercado global y en la disponibilidad de recursos (Gomez & Campo, 2023).

Para afrontar estos desafíos, es necesario integrar mecanismos para favorecer el desarrollo de nuevos bienes y servicios, así como en políticas de educación e investigación, que respalden la innovación y la sostenibilidad. Esto permitirá que el sector energético no solo responda a la demanda de una economía en transición, sino que también sea un actor clave en la construcción de un modelo económico sostenible, equitativo y resiliente, capaz de reducir la pobreza y la desigualdad en el país.

Objetivo 9. Asegurar la formalización y cobertura de energía en Colombia, promoviendo la democratización de la energía y la adopción de soluciones energéticas sostenibles y diversificadas que consideren los potenciales y necesidades energéticas territoriales.

Este objetivo busca promover un acceso equitativo y sostenible a la energía en todo el país mediante soluciones energéticas diversificadas que no solo aseguren un suministro continuo y de calidad, sino también atiendan la asequibilidad y sostenibilidad del acceso energético. En el marco de la transición energética justa y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, garantizar la formalización y la cobertura energética son clave para cerrar brechas históricas y asegurar que los beneficios del desarrollo energético lleguen a todas las regiones.

ELPEN promueve la justicia social y el desarrollo económico impulsado por el sector energético, especialmente en áreas remotas y en regiones afectadas por conflictos históricos, donde el acceso a la energía puede mejorar la calidad de vida y crear oportunidades de empleo. La democratización de la energía se posiciona como una estrategia fundamental, en tanto promueve el derecho de las comunidades a participar en decisiones sobre los recursos energéticos de sus territorios, fomentando un sentido de propiedad y responsabilidad local. Mediante estrategias como comunidades energéticas y cooperativas, los ciudadanos pueden participar activamente en la producción y consumo de energía, lo que incrementa la aceptación social de los proyectos energéticos y permite precios más accesibles, contribuyendo así a reducir la pobreza energética (IEA, 2024).

Las soluciones energéticas sostenibles y adaptadas a las características de cada territorio son esenciales para reducir la dependencia de fuentes contaminantes, como el uso ineficiente de leña y combustibles fósiles, mejorando la salud pública y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos. Este objetivo requiere un enfoque inclusivo que considere las diversas necesidades y potenciales energéticos de cada región.

Alineado con los principios de justicia energética y el derecho a un ambiente sano, este objetivo fortalecerá las bases de una transición energética justa y equitativa, proporcionando a todos los usuarios la oportunidad de mejorar su calidad de vida y

de contribuir al cumplimiento de las necesidades energéticas de todo el territorio nacional

Objetivo 10. Promover cambios de comportamiento hacia la promoción de una ética energética, y la participación activa de la ciudadanía desde la oferta hasta la demanda de la energía, mediante estrategias de sensibilización, formación e información, que generen conciencia sobre el impacto económico y ambiental de la Transición Energética Justa.

Con este objetivo se busca promover cambios de comportamiento que permitan entender que la producción y el consumo de energía trascienden una visión técnico-económica, y que requieren consideraciones éticas. Estas consideraciones deben centrarse en asegurar que las acciones que tomamos no comprometan el bienestar de otras poblaciones, de las generaciones futuras ni el planeta, y en buscar una distribución equitativa de los beneficios y las cargas derivadas de la producción y el consumo de energía (Babatunde et al., 2024).

Desde el punto de vista de la producción, la sostenibilidad de las fuentes de energía debe evaluarse desde el ciclo de vida de cada tecnología energética: la extracción de materias primas, construcción, operación, y finalmente el desmantelamiento, con el objetivo de fomentar un uso responsable que comprenda la reducción de las emisiones contaminantes y la reducción de los efectos adversos sobre el planeta y las comunidades en articulación con la cartera ambiental. En última instancia, el desafío radica en encontrar un equilibrio entre satisfacer las necesidades energéticas actuales y proteger los recursos para las generaciones futuras, adoptando principios éticos y de justicia energética que guíen las decisiones hacia un modelo más justo y sostenible (Harlem, 2012).

Por otro lado, desde la perspectiva del consumo de energía, el comportamiento de los usuarios se convierte en un pilar fundamental para alcanzar los objetivos de eficiencia energética. De acuerdo con la IEA (2023), los cambios de comportamiento son acciones que los consumidores de energía pueden adoptar para reducir o eliminar el consumo innecesario o excesivo de energía, por ejemplo, caminar, ir en bicicleta o utilizar el transporte público en lugar de conducir; moderar el uso de la calefacción y el aire acondicionado; sustituir los vuelos en avión por viajes en tren cuando sea posible; o elegir un vehículo más eficiente en términos de consumo de combustible.

Lo anterior además de contribuir a reducir las emisiones, también impacta positivamente en el bienestar y la salud pública, al promover la justicia energética al disminuir las disparidades de consumo entre distintos sectores de la sociedad (IEA, 2023).

En conclusión, promover una ética energética equitativa requiere incorporar el principio de "*justicia energética*", que busca asegurar una participación justa y beneficios compartidos en el sistema energético, al tiempo que se mitigan las cargas históricas sobre comunidades afectadas. La ética en este contexto implica tomar decisiones que anticipen y minimicen los impactos negativos, priorizando soluciones que no vulneren derechos y que consulten y respeten las expectativas

de las comunidades involucradas, garantizando así una transición energética justa y equitativa (UPME, 2023).

1.5. Visión de largo plazo: Competitivo, confiable, inclusivo y carbono neutral, un marco estratégico para la transición energética

La visión del PEN 2025- 2055 es alcanzar un sistema energético que sea **competitivo, confiable, inclusivo y carbono neutral**, alineado con los compromisos climáticos de Colombia. Este modelo se enfoca en una transición energética justa y adopta una perspectiva interseccional, que incluye componentes sociales, ambientales, climáticos, territoriales, étnicos y de género.

Este plan no solo busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también preparar al país para responder a los impactos de la transición energética global y nacional, protegiendo los derechos de las poblaciones más vulnerables en el proceso de descarbonización de la matriz energética, con una activa participación ciudadana en su diseño e implementación.

El PEN proporciona una visión de largo plazo para el sector energético colombiano, orientada a identificar alternativas tecnológicas para la producción y el consumo de energía, así como a guiar técnicamente las decisiones de transformación económica, social, ambiental y tecnológica del país. Esta perspectiva de 30 años permite anticipar tendencias estructurales, evaluar trayectorias posibles y definir rutas de transición compatibles con los objetivos nacionales de desarrollo.

La visión de largo plazo cumple un rol clave como marco para la toma de decisiones estratégicas, al permitir que las políticas públicas y las inversiones se diseñen de manera coherente, evitando soluciones de corto plazo que puedan generar ineficiencias o riesgos sistémicos en el futuro.

1.6. Enfoque de planeación estratégica para la transición energética

La formulación del Plan Energético Nacional (PEN) 2025-2055 se apoya en un enfoque de planeación estratégica que responde a la complejidad creciente del sistema energético y a la necesidad de articular decisiones de largo plazo en un contexto de cambio acelerado. Este enfoque busca integrar de manera coherente los distintos niveles de análisis técnico, institucional, territorial y social, traducándose en un proceso estructurado de formulación del Plan. A partir de esta base, se definen los elementos metodológicos, los instrumentos analíticos y las formas de articulación que orientan la transformación del sistema energético colombiano de manera progresiva y consistente.

Esta planeación incorpora el uso de modelos matemáticos de optimización, como un soporte clave para la toma de decisiones estratégicas. Estas herramientas permiten explorar distintos futuros posibles del sistema energético y contrastar alternativas de política con una visión integral de largo plazo. Entre sus fortalezas se encuentra la posibilidad de considerar de manera conjunta variables ambientales y sociales relevantes para la transición energética justa, así como mejorar la representación temporal del sistema energético, fortaleciendo la consistencia técnica del Plan y apoyando la definición de rutas alineadas con los objetivos nacionales.

La visión del PEN 2025-2055 se orienta a fortalecer la resiliencia y confiabilidad del sistema energético colombiano, promoviendo una matriz sostenible, competitiva e inclusiva, en coherencia con los objetivos de los planes energéticos previos y con los principales instrumentos de política pública nacional. Este enfoque se sustenta en una lógica de continuidad y coherencia en la que cada actualización del Plan se construye a partir del análisis del ejercicio anterior, de la evolución de la realidad energética del país y del contexto energético y climático global, integrando lecciones aprendidas y desafíos emergentes.

En este marco, el PEN define escenarios energéticos que consideran trayectorias basadas en las políticas actualmente adoptadas (políticas declaradas), en las políticas y metas anunciadas o en proceso de adopción (políticas anunciadas), y en una senda de transformación profunda compatibles con la meta de carbono neutralidad a 2050, conforme a la Ley de Acción Climática (2169 de 2021) y la Estrategia de Largo Plazo E2050. Estos escenarios permiten evaluar distintas rutas de evolución del sistema energético bajo niveles diferenciados de ambición climática y condiciones habilitantes, y constituyen una referencia para orientar decisiones estratégicas de largo plazo.

Así, la planeación se estructura bajo los pilares de seguridad y confiabilidad energética; sostenibilidad y carbono neutralidad; competitividad y desarrollo económico; e inclusividad y justicia, que se materializan de las apuestas propuestas en los seis planes estratégicos complementarios al PEN: eficiencia energética, diversificación energética, movilidad sostenible, infraestructura energética, industrialización, e innovación y desarrollo. Estos planes actúan como instrumentos estructurantes para traducir los objetivos del Plan en acciones coherentes y articuladas en el corto, mediano y largo plazo, como se ilustra en el Gráfico 3-2.

Gráfico 3-1. Relación de pilares y objetivos del Plan Energético Nacional 2025- 2055

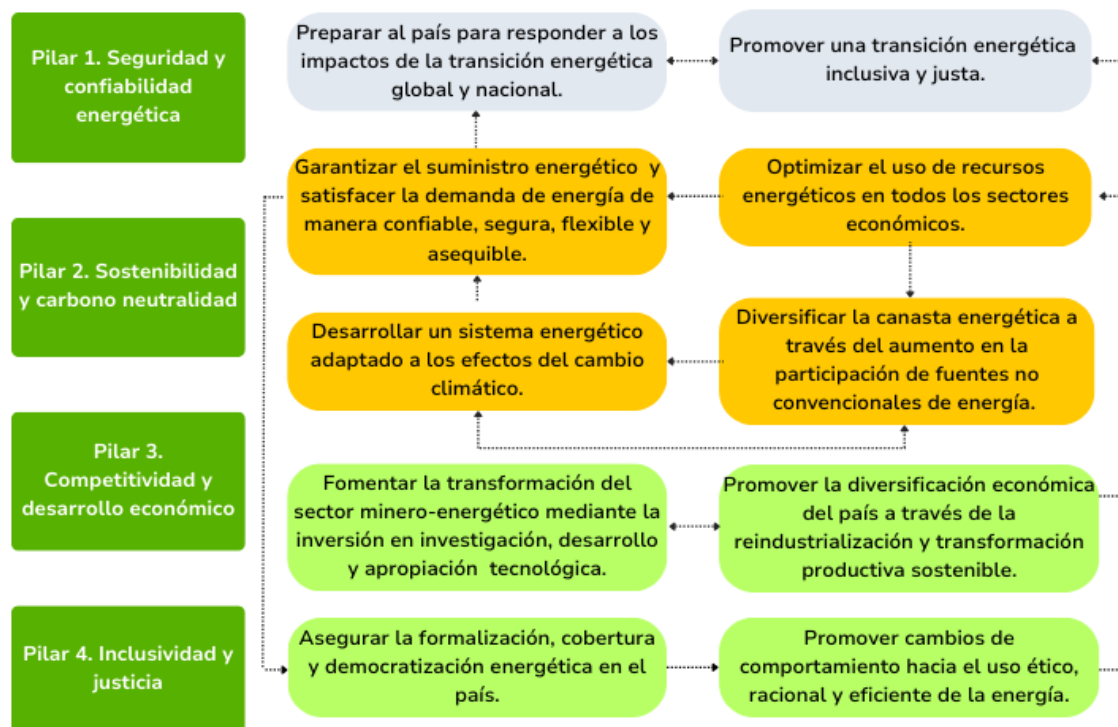


Gráfico 3-2. Planes estratégicos del Plan Energético Nacional 2025- 2055



Fuente: Elaboración propia, 2024

Finalmente, el PEN 2025-2055, como marco de la planeación energética de largo plazo, establece una batería de indicadores para dar seguimiento a los avances del país en materia de transición energética justa, en alineación con los compromisos nacionales e

internacionales. Esta aproximación progresiva permite que las estrategias energéticas evolucionen de manera gradual y coherente, incorporando avances tecnológicos, ajustes regulatorios y nuevos compromisos globales, y abordando de forma integrada retos como la descarbonización, la diversificación de la matriz energética y la democratización del acceso a la energía.

2. DEMANDA Y OFERTA DE ENERGÍA EN EL MARCO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

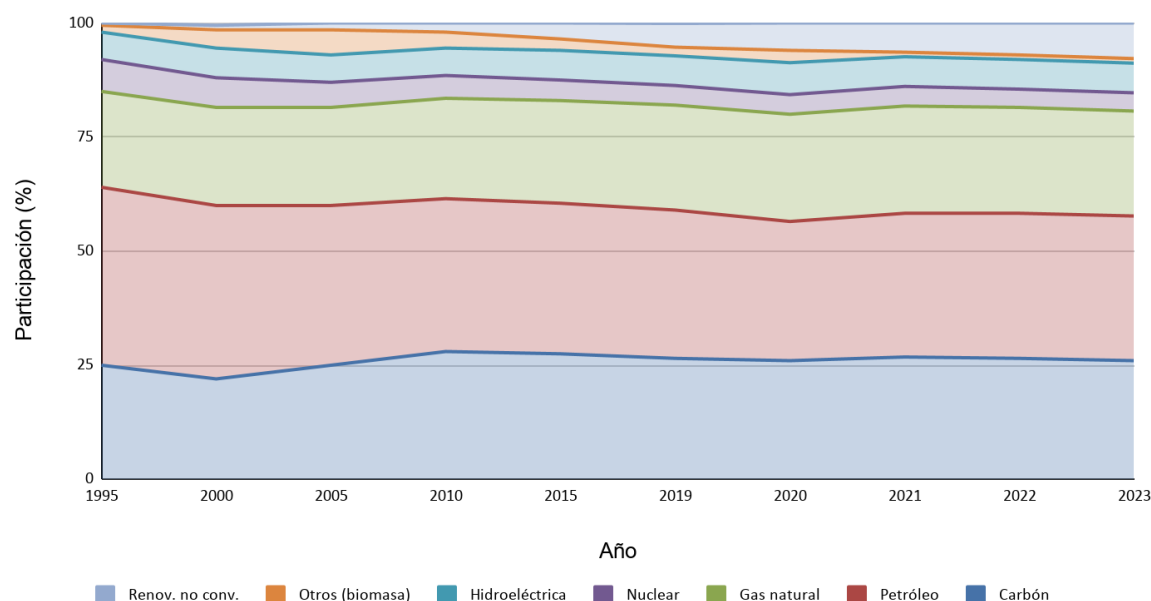
Contexto Internacional

La transición energética constituye un proceso de transformación estructural y estratégico de alcance global que está reconfigurando los sistemas energéticos, las cadenas productivas y los patrones de consumo, a medida que se articulan acciones en los países que buscan fortalecer su seguridad energética, responder a los desafíos del cambio climático y aprovechar las oportunidades asociadas al desarrollo tecnológico y a la innovación. A diferencia de las transiciones energéticas anteriores, impulsadas principalmente por consideraciones de eficiencia económica o disponibilidad de recursos, la transición energética actual responde a la convergencia de objetivos climáticos, preocupaciones de seguridad energética, avances tecnológicos y nuevas dinámicas de competitividad industrial. En consecuencia, su alcance trasciende el sector energético y se extiende a reducir la vulnerabilidad climática, a través de una transición gradual y planeada que permita no sólo fortalecer la política industrial, los sistemas de transporte, el comercio internacional y las cadenas globales de suministro, sino transitar hacia condiciones sociales, ambientales y económicas con criterios de justicia.

Lejos de tratarse de un fenómeno coyuntural, su naturaleza responde a la convergencia simultánea de tres presiones sistémicas: la evidencia científica acumulada sobre la incidencia antropogénica en el cambio climático (IPCC, 2023), el agotamiento progresivo del presupuesto de carbono compatible con la estabilización térmica del planeta y la reconfiguración técnico-económica derivada de la maduración de las tecnologías renovables no convencionales (IRENA, 2024). En este marco, el análisis del comportamiento histórico y prospectivo de la oferta y demanda mundial de energía resulta indispensable para orientar las decisiones de planeación energética nacional, particularmente para economías como la colombiana, cuya matriz eléctrica de baja intensidad carbónica coexiste con una estructura exportadora altamente expuesta a la descarbonización global.

La evolución del consumo mundial de energía primaria permite comprender la magnitud y dirección de los cambios que experimenta el sistema energético global. El consumo de energía primaria pasó de aproximadamente 355 exajulios (EJ) en 1995 a un nuevo máximo histórico de 620 EJ en 2023, lo que representa una expansión cercana al 75% en un período inferior a treinta años (Energy Institute, 2024). En 2023, el crecimiento interanual alcanzó el 2%, cifra que superó en 0,6 puntos porcentuales la media decenal y rebasó en más de un 5% el nivel prepandémico de 2019 (Energy Institute, 2024). Estos resultados evidencian que la transición energética se desarrolla en un contexto de expansión continua de la

demanda global, lo que implica que el desafío no consiste únicamente en sustituir fuentes fósiles por alternativas de bajas emisiones, sino también en satisfacer necesidades energéticas crecientes de manera segura, competitiva y sostenible.



Fuente: Statistical Review of World Energy 2024

Figura 1-1. Evolución de la matriz energética primaria global por fuente (1995-2023)

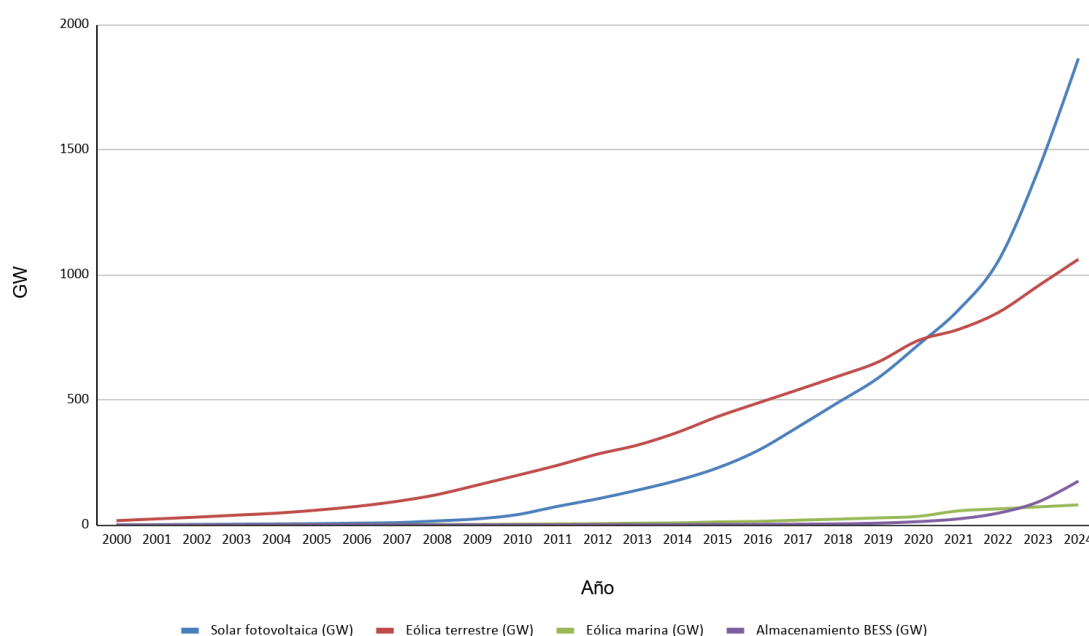
Pese a la magnitud del proceso de transformación de la matriz energética observado durante las últimas décadas, los combustibles fósiles continúan dominando el suministro energético global. Según la (IEA, 2024), su participación en la oferta primaria se redujo del 85% en 2013 al 81% en 2023, una disminución que, aunque significativa, resulta modesta frente a la velocidad requerida para alcanzar los objetivos climáticos internacionales. En términos absolutos, el consumo fósil alcanzó un máximo histórico cercano a 505 EJ en 2023, impulsado por incrementos en el consumo de carbón (+1,6 %) y petróleo (+2 %), cuyo consumo superó por primera vez los cien millones de barriles diarios (Energy Institute, 2024). Estos resultados reflejan amplios segmentos del sistema energético: la permanencia de una participación fósil cercana al 80% de la oferta energética mundial pone de manifiesto que amplios segmentos del sistema energético continúan dependiendo de estos energéticos para atender necesidades asociadas al transporte, la industria y los usos térmicos, lo que evidencia la complejidad técnica, económica y social de los procesos de sustitución energética y plantea importantes desafíos para la planeación de largo plazo.

En este sentido, la persistencia de los combustibles fósiles no obedece únicamente a una insuficiente penetración de tecnologías de bajas emisiones, sino también a factores estructurales asociados a la configuración actual de los sistemas energéticos. Sectores como el transporte terrestre, marítimo, la aviación, la industria siderúrgica, cementera y petroquímica continúan enfrentando barreras técnicas, económicas y operativas para una sustitución completa de los combustibles fósiles. Asimismo, la existencia de amplias infraestructuras de producción, transporte y consumo de hidrocarburos, desarrolladas durante décadas, genera inercias tecnológicas y económicas que condicionan la velocidad

del cambio. Como resultado, la transición energética global se caracteriza por una coexistencia progresiva entre fuentes convencionales y tecnologías de bajas emisiones, en la que la expansión de estas últimas ocurre de manera gradual y heterogénea entre sectores, regiones y usos finales de la energía.

En paralelo con la aún elevada participación de los combustibles fósiles en la oferta energética mundial, las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCR) han experimentado una expansión sin precedentes y se han consolidado como el principal componente del crecimiento de la nueva capacidad de generación eléctrica a nivel mundial. De acuerdo con IRENA (2025), la capacidad solar fotovoltaica instalada a nivel mundial pasó de menos de 1 GW en el año 2000 a 1.865 GW al cierre de 2024, mientras que la capacidad eólica creció de 17 GW a 1.133 GW durante el mismo período (Ver Figura 1-2).

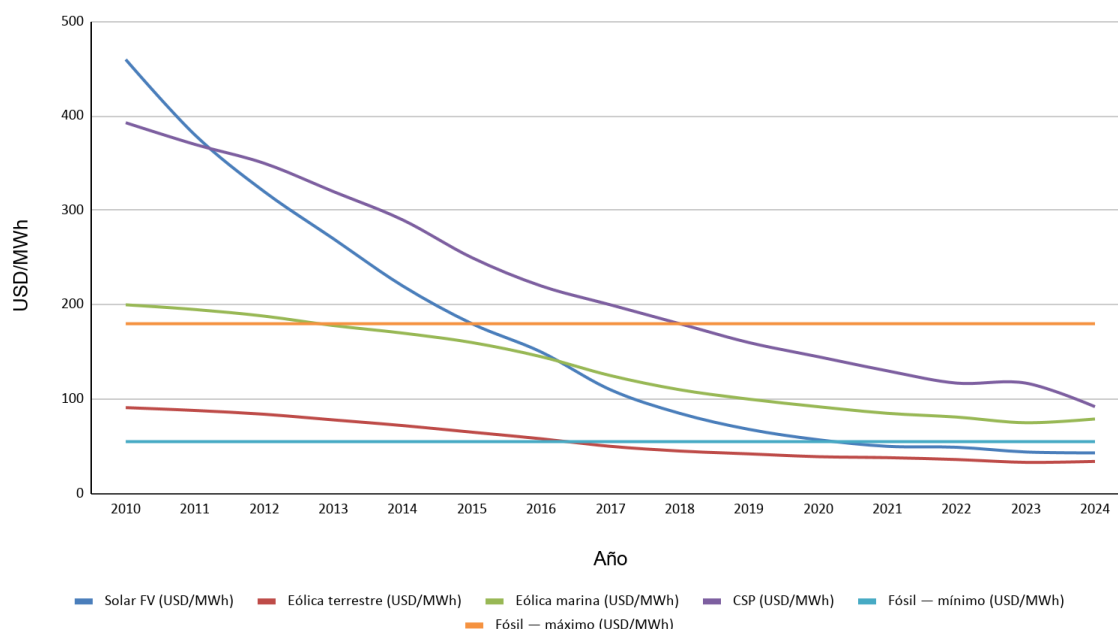
En conjunto, la capacidad renovable instalada alcanzó 4.448 GW en 2024, con una adición anual récord de 585 GW, equivalente al 92,5 % de toda la nueva capacidad de generación incorporada al sistema eléctrico global durante ese año (IRENA, 2025). Esta expansión refleja el papel cada vez más relevante de las tecnologías renovables dentro de las estrategias energéticas de largo plazo adoptadas por numerosos países, tanto para avanzar en sus objetivos de descarbonización como para fortalecer la diversificación y resiliencia de sus sistemas. En numerosos países, el impulso a las energías renovables ha dejado de responder exclusivamente a objetivos climáticos y también se asocia a la diversificación de fuentes energéticas, lo cual se ha convertido en una herramienta para fortalecer la seguridad energética, reducir la exposición a la volatilidad de los mercados internacionales de combustibles y aumentar la resiliencia frente a interrupciones geopolíticas.



Fuente: IRENA, Renewable Capacity Statistics 2025

Figura 1-2. Capacidad acumulada instalada de tecnologías renovables (2000- 2024)

Del mismo modo, la expansión de las tecnologías renovables ha estado acompañada por una transformación estructural de los costos de generación. IRENA documenta que entre 2010 y 2023 el costo nivelado de electricidad (LCOE) de la solar fotovoltaica de gran escala cayó un 90%, pasando de 460 a 44 USD/MWh, mientras que el de la eólica terrestre se redujo un 63%, pasando de 91 a 33 USD/MWh (IRENA, 2024). Como resultado, las tecnologías renovables se han consolidado como una de las alternativas más competitivas para la expansión de los sistemas eléctricos. De acuerdo con IRENA, en la mayoría de los casos construir nueva capacidad renovable resulta hoy más económico que desarrollar nuevas plantas de generación basadas en combustibles fósiles. (IRENA, 2025).



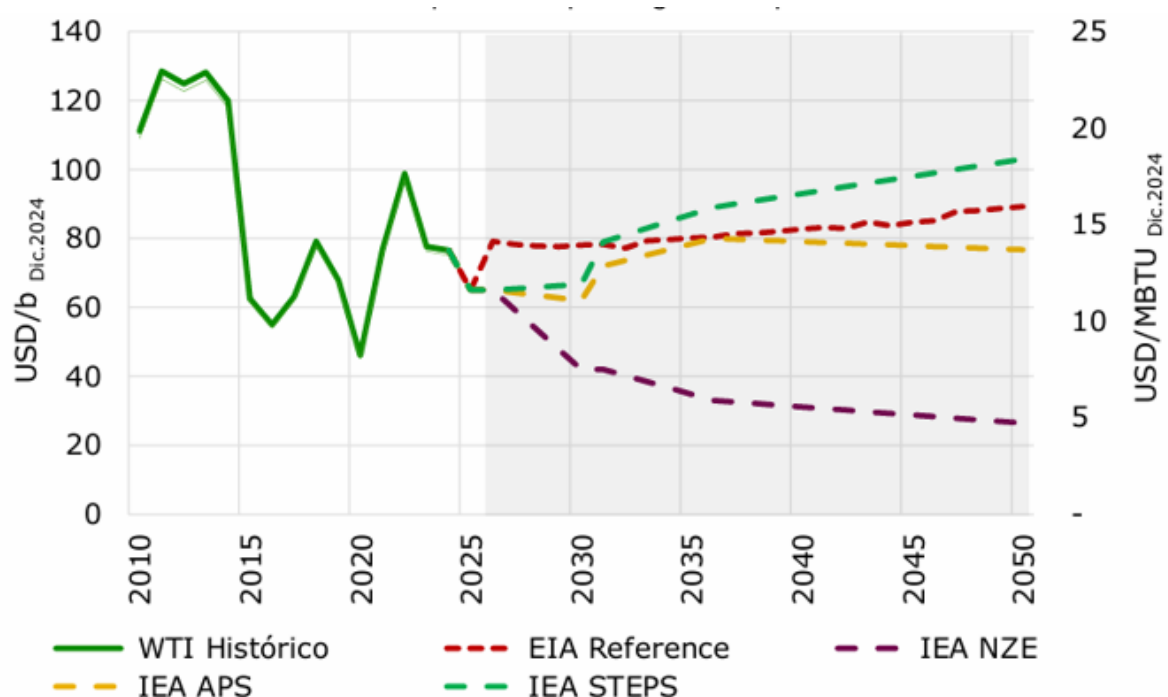
Fuente: IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2023

Figura 1-3. Caída del LCOE de tecnologías renovables frente al rango fósil (2010-2024)

La capacidad renovable mundial creció un 15,1% en 2024, una tasa inferior al 16,6% anual requerido para alcanzar la meta acordada en la COP28 de triplicar la capacidad renovable global hasta 11.000 GW antes de 2030 (IRENA, 2024). Esta diferencia evidencia la existencia de una brecha entre la trayectoria observada y la trayectoria necesaria para cumplir los compromisos climáticos internacionales. Cerrar esta brecha requerirá no solo continuar reduciendo costos y expandiendo la adopción de tecnologías renovables, sino también fortalecer las condiciones habilitantes para la transición energética, incluyendo infraestructura, regulación, financiamiento y capacidades institucionales.

La existencia de esta brecha sugiere que la principal restricción para acelerar la transición energética ya no radica exclusivamente en la disponibilidad tecnológica; cada vez adquieren mayor relevancia factores asociados a la capacidad institucional para desarrollar infraestructura, movilizar inversiones, agilizar procesos regulatorios y gestionar los impactos sociales y territoriales de la transición. En este sentido, la gobernanza energética emerge como un componente tan relevante como el desarrollo tecnológico para alcanzar las metas internacionales de descarbonización.

Los análisis de la IEA, respecto a las proyecciones sobre el precio internacional del petróleo crudo, evidencian una marcada divergencia, condicionada por el nivel de ambición climática de cada escenario. Mientras para el año 2025 se estima un valor promedio cercano a los 65 USD/b, hacia el 2050 la banda de precios se expande entre los 25 y los 106 USD/b; el límite inferior de este rango se asocia directamente a una reducción estructural de la demanda global, propia de escenarios de emisiones netas cero (NZE). Bajo esta óptica, resulta pertinente considerar que bajo el camino de cumplir con los compromisos climáticos, se sugiere que, ante un exceso de oferta frente a una demanda decreciente de combustibles fósiles, la presión a la baja sobre los precios internacionales tenderá a intensificarse. Esto significa que la transición energética no es sólo una necesidad ambiental sino fiscal, dada la alta dependencia del país a los precios internacionales de hidrocarburos.



Fuente: UPME, a partir de datos IEA y EIA

Figura 1-4. Prospectiva de precio global de petróleo crudo (2010- 2050)

Trayectoria climática y emisiones de GEI

Como consecuencia de la elevada dependencia mundial de los combustibles fósiles, las emisiones de gases de efecto invernadero continúan ubicándose en niveles históricamente altos. Las emisiones de CO₂ asociadas al sector energético alcanzaron un nuevo máximo histórico de 37,4 Gt CO₂ en 2023, equivalente a un incremento del 1,1% respecto del año anterior (IEA, 2024). Considerando el conjunto de gases de efecto invernadero (GEI), las emisiones totales ascendieron a 57,1 Gt CO₂-eq durante el mismo año (UNEP, 2024). Esta trayectoria ha contribuido al aumento sostenido de las concentraciones atmosféricas de CO₂, que alcanzaron un promedio global de 422,8 ppm en 2024, con un incremento anual

de 3,75 ppm (NOAA, 2025), frente a niveles de 354 ppm en 1990 y 390 ppm en 2010. Estos resultados reflejan que los avances observados en materia de transición energética aún no son suficientes para revertir la tendencia creciente de las emisiones globales.

Lo anterior pone de manifiesto que el ritmo actual de despliegue de tecnologías bajas en carbono continúa siendo insuficiente para compensar el crecimiento de la demanda energética mundial. Como resultado, el mundo enfrenta una situación en la cual los avances tecnológicos y las inversiones en energías limpias coexisten con niveles históricamente altos de consumo de combustibles fósiles y emisiones de gases de efecto invernadero.

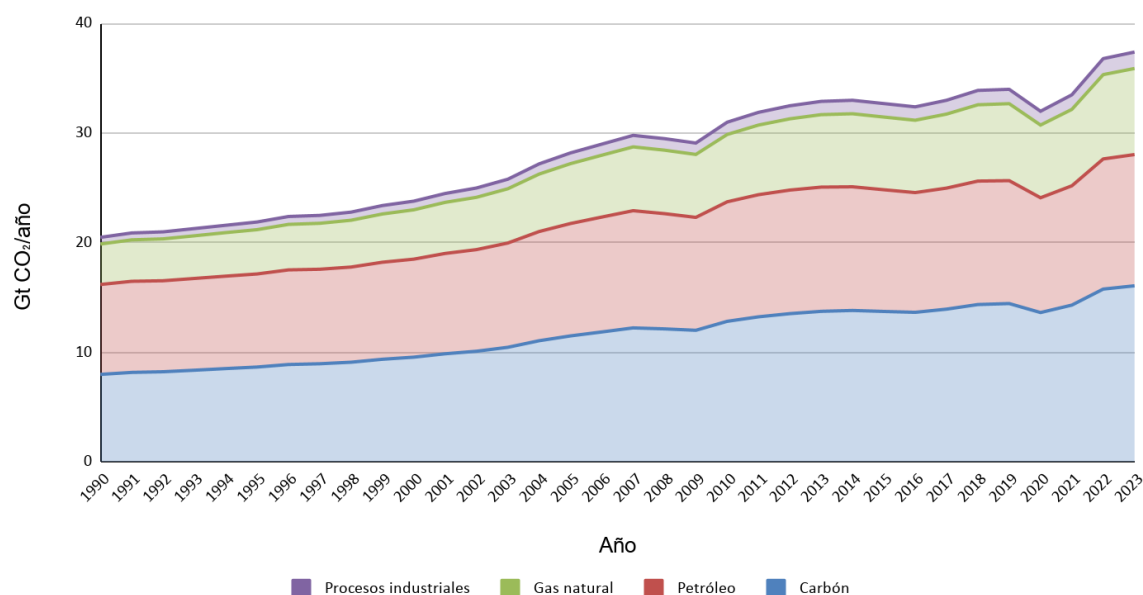


Figura 1-5. Emisiones globales de CO₂ por fuente fósil (1990- 2023)

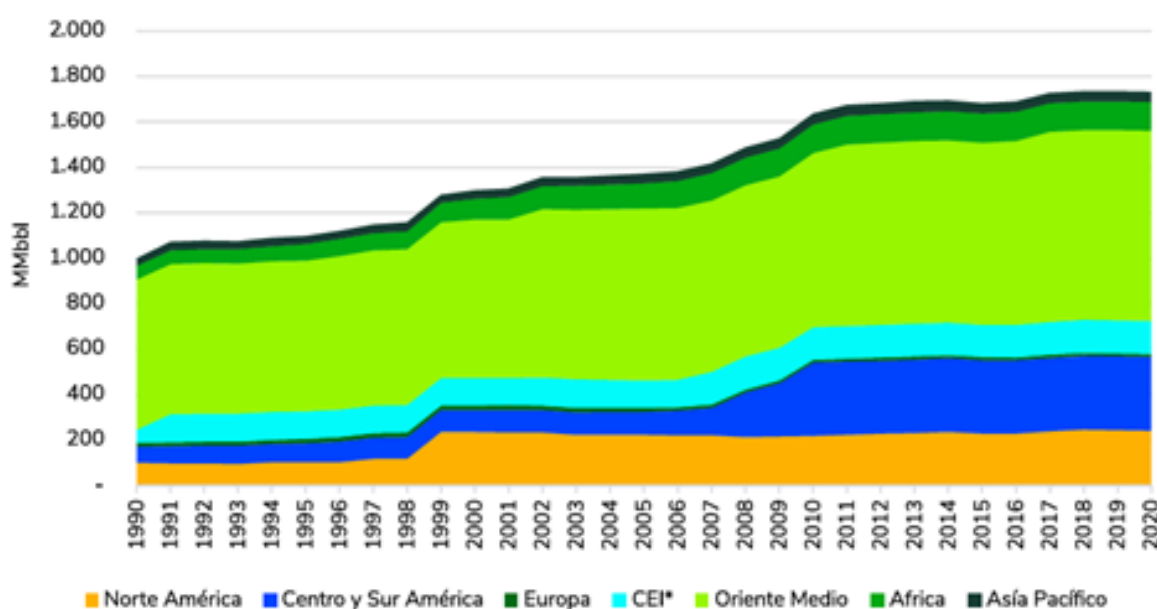
La evidencia científica consolidada en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2023), confirma, que las actividades humanas han generado un calentamiento global aproximado de 1,1 °C respecto a los niveles preindustriales (1850–1900) durante el decenio 2011–2020. El informe también señala que entre 3,3 y 3,6 mil millones de personas habitan en contextos altamente vulnerables al cambio climático y la mortalidad asociada a inundaciones, sequías y tormentas fue quince veces superior en las regiones más vulnerables que en aquellas con menor exposición durante el periodo 2010-2020 (IPCC, 2023). Estos hallazgos evidencian que los impactos del cambio climático ya se encuentran presentes y afectan de manera diferenciada a las poblaciones y territorios, constituyendo una de las principales justificaciones para impulsar procesos de descarbonización, adaptación y fortalecimiento de la resiliencia dentro de las estrategias de planeación energética de largo plazo. .

En el caso de combustibles líquidos, la transición internacional introduce un entorno de creciente incertidumbre para los países productores. Por un lado, las trayectorias globales orientadas hacia la carbono neutralidad tienden a reducir progresivamente la demanda de petróleo y sus derivados en el largo plazo; por otro lado, la producción mundial continúa concentrada en un número reducido de países con elevada influencia geopolítica, lo que

mantiene riesgos asociados a la volatilidad de precios, la seguridad de suministro y las dinámicas del mercado energético internacional.

La incertidumbre sobre la velocidad y magnitud de la reducción futura de la demanda de hidrocarburos plantea importantes desafíos para la toma de decisiones de inversión. Los países productores enfrentan la necesidad de equilibrar objetivos de seguridad energética, sostenibilidad fiscal y competitividad económica en un contexto caracterizado por señales de mercado contradictorias. Mientras algunos escenarios proyectan una desaceleración progresiva de la demanda mundial, otros anticipan períodos prolongados de coexistencia entre combustibles fósiles y tecnologías de bajas emisiones, especialmente en sectores de difícil descarbonización.

Para economías como la colombiana, esta situación configura una doble exposición: por una parte, la dependencia de los ingresos fiscales, exportaciones e inversiones asociadas a los hidrocarburos; y por otra, la necesidad de adaptarse oportunamente a un sistema energético y productivo cada vez más orientado hacia tecnologías de bajas emisiones. La gestión de esta transición constituye uno de los principales desafíos de planeación para los países productores durante las próximas décadas.



Fuente: Statistical Review of World Energy

Figura 1-6. Histórico Reservas probadas de crudo por región

El componente climático refuerza la necesidad de esta transformación. Aunque Colombia aporta aproximadamente el 0,57% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, el país se encuentra altamente expuesto a riesgos asociados al cambio climático que afectan ecosistemas, infraestructura, seguridad hídrica, productividad agropecuaria y condiciones de vida de la población. Esta situación evidencia que la relevancia de la transición energética para Colombia no se deriva únicamente de su contribución a los esfuerzos globales de mitigación, sino también de la necesidad de fortalecer la resiliencia del territorio frente a los impactos climáticos. En este sentido, el

Primer Informe Bienal de Transparencia (BTR1) presentado por el IDEAM resalta la importancia de articular mitigación, adaptación, transparencia y planeación de largo plazo como elementos complementarios de la política climática nacional. Para Colombia, avanzar hacia un sistema energético más diversificado, resiliente y sostenible constituye no solo una respuesta a los compromisos internacionales en materia climática, sino también una estrategia para reducir vulnerabilidades estructurales y fortalecer las capacidades de adaptación frente a los desafíos futuros,

Tabla 1-1. Indicadores comparativos de matriz energética y transición (2023–2024)

Indicador	Unión Europea	Estados Unidos	China	América Latina	Colombia	Mundo
Renovables en generación eléctrica	45,3%	~23%	~33 %	~69%	~70%	30%
Fósiles en energía primaria	~65%	~83%	~83%	~75%	~54%	80%
Emisiones de CO ₂ per cápita (t/persona)	~5,5	~14,5	~8,3	~2,5	~1,8–2,0	4,6
Intensidad de carbono de la electricidad (g CO ₂ /kWh)	~230	~380	~550	~200	~160	475
Capacidad renovable instalada (GW, 2024)	~700	~460	~2.100	~430	~17	4.448
Meta NDC 2030	-55% vs. 1990	-50/52% vs. 2005	Pico antes 2030	Variable	-51% vs. BAU	-

Fuente: A partir de datos de IEA (2024); Energy Institute (2024); IRENA (2025); DNP (2024); Climate Action Tracker (2024); OLADE (2023).

Del análisis de esta sección se desprenden cuatro mensajes relevantes para la planeación energética colombiana. En primer lugar, la transición energética constituye un proceso estructural de largo plazo impulsado por la convergencia de objetivos climáticos, consideraciones de seguridad energética y transformaciones tecnológicas que están redefiniendo los sistemas energéticos a nivel global. En segundo lugar, aunque las fuentes renovables han experimentado una expansión acelerada y han alcanzado niveles crecientes de competitividad, los combustibles fósiles continúan representando la mayor parte del suministro energético mundial, lo que evidencia la complejidad de los procesos de sustitución energética. Esta dinámica sugiere que la transición energética global se desarrollará en un escenario de coexistencia entre fuentes convencionales y tecnologías de bajas emisiones durante las próximas décadas, con velocidades de transformación diferenciadas entre sectores y regiones. En tercer lugar, el ritmo actual de despliegue de tecnologías de bajas emisiones sigue siendo insuficiente para alcanzar las metas climáticas internacionales, lo que anticipa la necesidad de una intensificación progresiva de las

políticas, regulaciones y exigencias asociadas a la descarbonización durante las próximas décadas. En consecuencia, factores como la expansión de infraestructura energética, el fortalecimiento institucional, la movilización de financiamiento y la capacidad de ejecución de proyectos adquirirán una relevancia creciente dentro de las estrategias nacionales de transición energética. Finalmente, aunque Colombia tiene una participación relativamente baja en las emisiones globales, la evolución del contexto internacional influirá de manera creciente sobre su inserción en los mercados internacionales y las perspectivas de desarrollo económico. En consecuencia, la planeación energética nacional deberá articular simultáneamente los objetivos de diversificación de la matriz energética, adaptación al cambio climático, seguridad energética y transformación productiva, en un entorno internacional caracterizado por profundas transformaciones tecnológicas, económicas y regulatorias.

Contexto Nacional

En el contexto nacional, el sector minero-energético se define como el conjunto de eslabones productivos que integran las fases de obtención, transformación, generación, logística, intercambio y uso final de la energía. Este ecosistema abarca la minería, enfocada en la explotación de minerales de diversa naturaleza y, el componente propiamente energético, el cual articula la generación eléctrica, el aprovechamiento de hidrocarburos, la integración de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR) y otros vectores energéticos estratégicos (UPME, 2019). Esta dimensión de la economía cumple un rol dinamizador del crecimiento y la infraestructura del país, al constituirse como el soporte fundamental para la operación de los sectores productivos y la provisión de servicios esenciales, asegurando a su vez el suministro requerido para el bienestar de la ciudadanía (UPME, 2019).

Bajo los principios de una Transición Energética Justa (TEJ), se propone una reconfiguración estructural de la matriz de energía basada en un enfoque sistémico que integra la descarbonización, el fortalecimiento de redes inteligentes, la descentralización del sistema y el avance hacia la carbono neutralidad, fundamentado en criterios de equidad y sostenibilidad socioambiental. Bajo esta premisa, es imperativo examinar el comportamiento reciente de la oferta y la demanda energética para determinar los progresos y las brechas que Colombia debe gestionar con miras a consolidar un modelo energético que combine competitividad, seguridad, inclusión y resiliencia, en plena armonía con los compromisos climáticos nacionales.

Por consiguiente, la fase inicial del Plan Energético Nacional (PEN) 2025- 2055 se centra en el diagnóstico del estado y la trayectoria del sistema energético colombiano, caracterizando la estructura de la demanda final y analizando el potencial de los recursos y la suficiencia de la infraestructura actual. Este análisis es determinante para visibilizar los desafíos y las oportunidades que orientarán una planeación estratégica capaz de emitir señales de política pública coherentes con la realidad del territorio.

2.1. ¿Qué consumimos? Análisis del consumo de energéticos en Colombia: evolución histórica, tendencias actuales y desafíos futuros.

Desde 2010 hasta 2024, el consumo energético final en Colombia mantuvo una tendencia general de crecimiento, al pasar de 1.162 PJ a 1.498 PJ, lo que representa un incremento acumulado del 29% (UPME, 2025). Esta evolución refleja la expansión de la actividad económica, el crecimiento de la población y las mejoras en el acceso a los servicios energéticos en distintos sectores del país. No obstante, durante este período se presentaron algunas interrupciones coyunturales, particularmente en 2017, asociadas a un menor dinamismo económico, y en 2020, como consecuencia de las restricciones derivadas de la pandemia de COVID-19.

Tras esta contracción, el consumo energético retomó su senda de crecimiento impulsado por la recuperación de la actividad económica durante los años de 2021 y 2022. Aunque en los años posteriores el crecimiento económico mostró una moderación frente a los niveles registrados durante la recuperación post pandemia, la demanda energética continuó reflejando la expansión de las actividades productivas, comerciales y de servicios en el país. En 2024, el Producto Interno Bruto (PIB) colombiano registró una variación positiva del 1,7%, lo que indica una recuperación frente al 0,7 en 2023, cuyo desempeño económico respondió a una combinación de factores, entre ellos, las altas tasas de interés, la inflación persistente a nivel global y la contracción de la inversión, el consumo de los hogares y las exportaciones netas (Analdex, 2024). Las actividades que más contribuyeron a dicha recuperación fueron agricultura (8,1%), actividades artísticas (8,1%) y administración pública y defensa (4,2%).

Previo a este periodo, entre 2014 y 2019, la economía creció a un ritmo promedio de 2,8% anual. Luego, tras la crisis sanitaria, los años 2021 y 2022 marcaron una etapa de recuperación acelerada que impulsó nuevamente el consumo energético. Aunque las expectativas iniciales eran más altas, la economía colombiana está mostrando un cambio de tendencia, superando el bajo crecimiento registrado en el primer trimestre del año. Si bien las cifras actuales son todavía inferiores al potencial de crecimiento, marcan una clara mejoría (Analdex, 2024).

Por otra parte, el crecimiento poblacional también jugó un papel clave en la expansión de la demanda energética. La población colombiana pasó de 45 millones de habitantes en 2010 (Banco de la República, 2011) a 52,8 millones en 2024 (DANE, 2025), incrementando la demanda de energía en los sectores residencial, comercial, el transporte y los servicios. En conjunto, estos factores explican la tendencia creciente del consumo energético observada durante las últimas décadas y constituyen un elemento fundamental para comprender la evolución reciente de la demanda energética nacional.

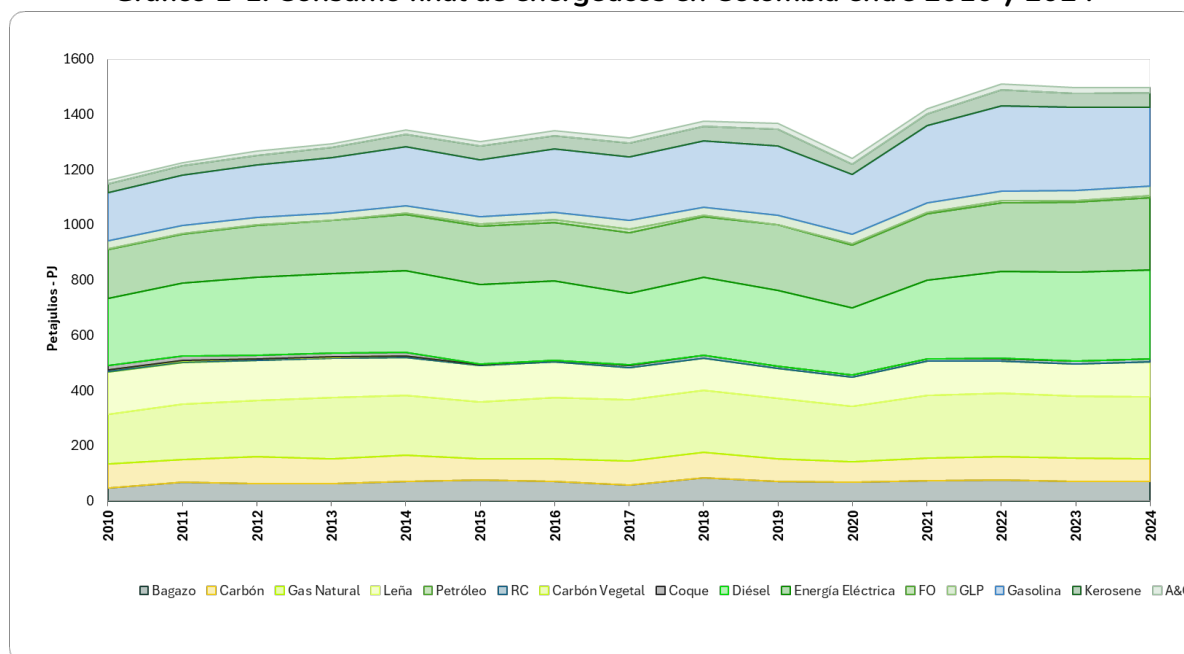
Por otro lado, la composición del consumo final de energía en Colombia evidencia el predominio de los combustibles fósiles a lo largo del período analizado. Entre 2010 y 2024, estos energéticos representaron en promedio el 66% del consumo final, manteniéndose

como la principal fuente de energía utilizada en el país. Dentro de este grupo, el gas natural y el GLP conservaron una participación conjunta cercana al 18% del consumo total durante el período (UPME, 2025).

No obstante, la evolución de la matriz de consumo muestra cambios graduales en la participación de algunos energéticos. Entre 2010 y 2024 se registró una reducción en el consumo final de leña, carbón y coque del 18%, 8% y 94%, respectivamente. En contraste, aumentó el consumo de residuos, fuel oil, gasolina y kerosene en 95%, 87%, 62% y 62%, respectivamente (UPME, 2025). Estas variaciones reflejan cambios en los patrones de consumo de los diferentes sectores económicos y en las fuentes utilizadas para satisfacer sus necesidades energéticas (**ver gráfico 1-1**).

Por su parte, desde la década de 1990 la electricidad ha incrementado progresivamente su participación dentro del consumo final de energía, como resultado de los procesos de electrificación, la expansión de la cobertura energética y el crecimiento de actividades residenciales, comerciales e industriales. Este aumento ha sido impulsado por la electrificación de áreas rurales, el desarrollo del sector servicios e industrial y la mejora en el acceso urbano. En 2024 la electricidad representó alrededor del 17% del consumo energético final, consolidándose como uno de los principales energéticos de la matriz de consumo nacional (UPME, 2025).

Gráfico 1-1. Consumo final de energéticos en Colombia entre 2010 y 2024



Fuente: BECO, 2024

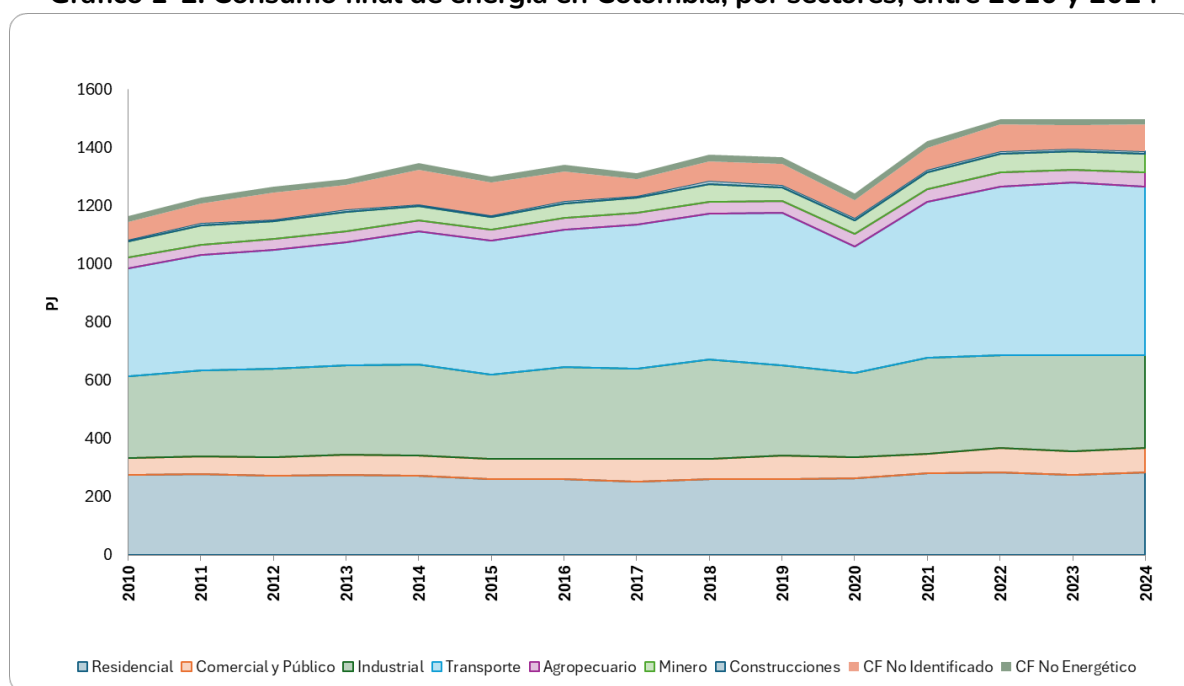
Ahora bien, la distribución sectorial del consumo final de energía permite comprender cómo se utilizan los diferentes energéticos en la economía colombiana. El **Gráfico 1-2**, muestra que el sector transporte concentra la mayor participación del consumo energético nacional, representando el 39% de la demanda final en 2024. Le siguen el sector industrial con el

21% y el sector residencial con el 19%, mientras que los sectores comercial y público participan conjuntamente con el 5,5% del consumo total.

Esta estructura sectorial explica en buena medida la composición de la matriz de consumo observada a nivel nacional. En particular, la elevada participación de los combustibles líquidos en el consumo energético responde, en gran medida, a la demanda de gasolina y otros derivados del petróleo por parte del sector transporte, principal consumidor de energía del país. De esta manera, la configuración actual de la demanda energética colombiana refleja tanto la importancia de la movilidad de personas y mercancías, como la dependencia de este sector de combustibles de origen fósil.

Las características propias de cada sector determinan los energéticos utilizados y sus tendencias de evolución, por lo que resulta necesario analizar de manera individual el consumo de los principales sectores para comprender las dinámicas que configuran la demanda energética del país.

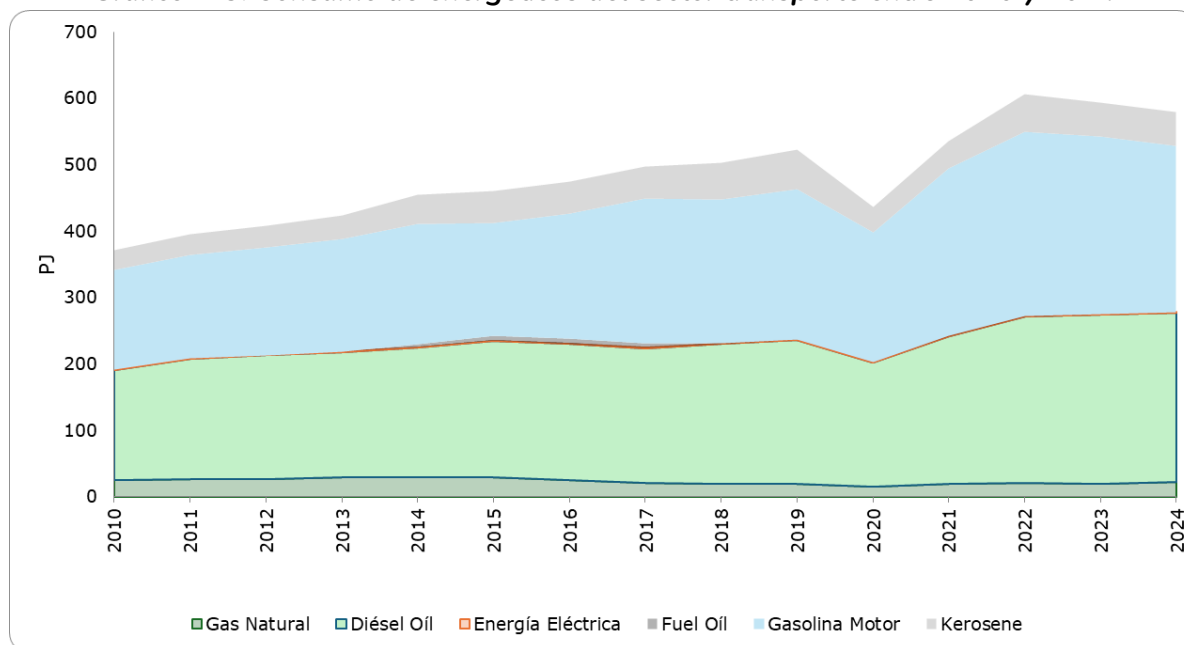
Gráfico 1-2. Consumo final de energía en Colombia, por sectores, entre 2010 y 2024



Fuente: BECO, 2024

Sector Transporte

El sector transporte es el principal consumidor de energía del país, con una participación del 39% del consumo final en 2024. Esta posición lo convierte en uno de los principales determinantes de la estructura de consumo energético nacional y explica, en gran medida, la alta participación de los combustibles fósiles observada en la matriz energética colombiana.

Gráfico 1-3. Consumo de energéticos del sector transporte entre 2010 y 2024

Fuente: BECO, 2024.

Como se observa en el **Gráfico 1-3**, el consumo energético del sector presentó una tendencia general de crecimiento entre 2010 y 2024, al pasar de aproximadamente 370 PJ a cerca de 580 PJ, equivalente a un incremento cercano al 57% durante el período. Esta evolución estuvo asociada al crecimiento del parque automotor, la expansión de la actividad económica y el aumento de la demanda de transporte de pasajeros y carga. No obstante, la serie registra una contracción significativa en 2020 como consecuencia de las restricciones a la movilidad derivadas de la pandemia de COVID-19, seguida de una rápida recuperación entre 2021 y 2024, período en el cual el consumo alcanzó los niveles más altos de toda la serie analizada.

La estructura del consumo energético del transporte ha permanecido relativamente estable a lo largo del período. En 2024, cerca del 90% de la demanda sectorial correspondió al consumo de gasolina motor y diésel, mientras que la participación del gas natural, el queroseno, el fuel oil y la electricidad continuó siendo comparativamente reducida (UPME, 2025). Esta configuración evidencia que la movilidad terrestre continúa dependiendo casi exclusivamente de combustibles líquidos derivados del petróleo, tanto para el transporte de pasajeros como para el transporte de carga.

La composición de la matriz energética del transporte en Colombia es consistente con las tendencias observadas a nivel internacional. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, los combustibles líquidos representan aproximadamente el 90% del consumo energético del transporte a escala mundial y el 83% en América Latina, lo que confirma que este sector continúa siendo uno de los mayores desafíos para los procesos de descarbonización debido a su elevada dependencia de combustibles fósiles (IEA, 2022).

Aunque durante los últimos años se han fortalecido las políticas orientadas a promover la movilidad eléctrica, los biocombustibles y otros combustibles de bajas emisiones, la participación de estas alternativas dentro del consumo final del sector continúa siendo

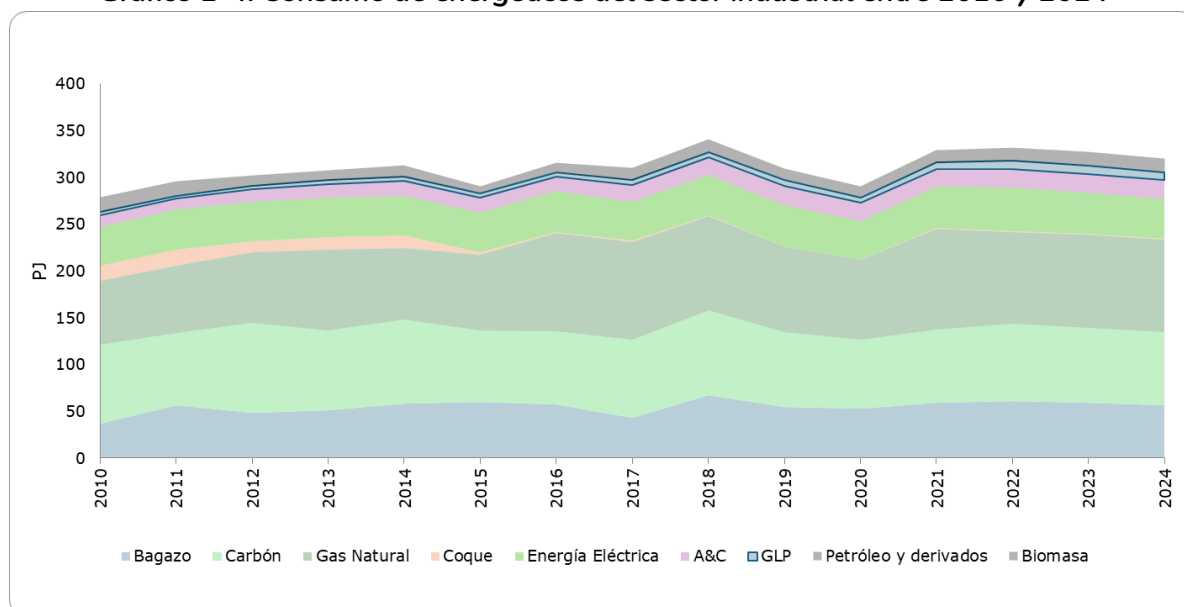
limitada. Esta situación responde, entre otros factores, a la elevada vida útil del parque automotor, la infraestructura existente para combustibles líquidos, la lenta renovación tecnológica de los vehículos de carga y las diferencias en el ritmo de adopción de nuevas tecnologías entre los distintos modos de transporte (IEA, 2024; Ministerio de Minas y Energía, 2024).

Desde la perspectiva de la planeación energética de largo plazo, la transformación del sector transporte constituye uno de los principales retos de la transición energética colombiana. La reducción de la dependencia de combustibles fósiles requerirá acelerar la electrificación de la movilidad, fortalecer el uso de combustibles de bajas emisiones, mejorar la eficiencia energética de los vehículos y promover cambios modales que permitan reducir el consumo energético sin afectar la competitividad, la conectividad y el acceso a los servicios de transporte.

Sector Industrial

El sector industrial representó el 21% del consumo final de energía del país en 2024, consolidándose como el segundo mayor consumidor energético de Colombia. La demanda del sector responde a una amplia diversidad de procesos productivos que requieren tanto energía térmica como energía eléctrica para actividades de transformación, manufactura y procesamiento de materias primas. En consecuencia, la industria presenta una de las matrices energéticas más diversificadas entre los principales sectores consumidores del país.

Gráfico 1-4. Consumo de energéticos del sector industrial entre 2010 y 2024



Fuente: BECO, 2024.

Como se observa en el **Gráfico 1-4**, el consumo energético industrial presentó una evolución relativamente estable entre 2010 y 2024, con fluctuaciones asociadas al comportamiento de la actividad económica y una reducción transitoria en 2020 como consecuencia de la pandemia de COVID-19. Posteriormente, la demanda registró una

recuperación que permitió alcanzar niveles cercanos a los máximos observados durante la serie, reflejando la reactivación de la producción manufacturera y de otras actividades industriales.

La matriz energética del sector se caracteriza por una combinación de fuentes que responde a la diversidad de procesos industriales. En 2024, el gas natural y el carbón concentraron conjuntamente cerca del 55% del consumo energético, consolidándose como los principales energéticos utilizados para satisfacer requerimientos de calor de proceso y otras aplicaciones industriales. A estos se suman la electricidad, el bagazo, la biomasa, el coque, el GLP y otros derivados del petróleo, cuya participación varía según las características tecnológicas y productivas de las diferentes ramas industriales.

Entre 2010 y 2024 se registraron cambios importantes en la composición de esta matriz. Durante el período, el consumo de coque disminuyó aproximadamente un 94% y el de petróleo y sus derivados cerca del 61%, la biomasa un 81% y el gas natural un 44%. Si bien el GLP presentó la mayor tasa de crecimiento relativa durante el período (199%), su aporte al consumo energético total del sector permanece reducido en comparación con el gas natural, el carbón y la electricidad. Aunque estas variaciones reflejan un proceso gradual de transformación en las fuentes energéticas utilizadas por la industria, los combustibles destinados a la generación de calor continúan desempeñando un papel predominante dentro de la demanda sectorial.

La creciente participación del gas natural y de fuentes como la biomasa evidencia una tendencia hacia combustibles con menores emisiones relativas y un mayor aprovechamiento de recursos energéticos disponibles localmente. En particular, el uso del bagazo de caña y de otras biomásas en procesos industriales y de cogeneración constituye una de las principales experiencias de bioenergía desarrolladas en el país, especialmente en la agroindustria azucarera del suroccidente colombiano (Asocaña, 2024). No obstante, la permanencia de combustibles como el carbón y el coque pone de manifiesto que algunos procesos industriales continúan enfrentando importantes desafíos tecnológicos para avanzar hacia alternativas de bajas emisiones.

Desde una perspectiva internacional, la industria continúa siendo uno de los sectores más complejos de descarbonizar debido a la elevada demanda de calor de proceso y a la existencia de actividades con una demanda intensa de energía, como lo es la producción de cemento, acero, productos químicos y otros materiales básicos. La Agencia Internacional de Energía identifica que la electrificación, el uso sostenible de biomasa, el hidrógeno de bajas emisiones, la captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) y las mejoras en eficiencia energética constituyen las principales alternativas para reducir las emisiones del sector industrial durante las próximas décadas (IEA, 2024).

En este contexto, la transición energética del sector industrial colombiano requerirá combinar estrategias de eficiencia energética, electrificación de procesos -donde resulte técnicamente viable-, sustitución progresiva de combustibles de mayor intensidad de carbono y fortalecimiento del aprovechamiento sostenible de recursos energéticos renovables. La diversidad de la matriz energética industrial constituye una ventaja para avanzar en este proceso, aunque la velocidad de transformación dependerá de la

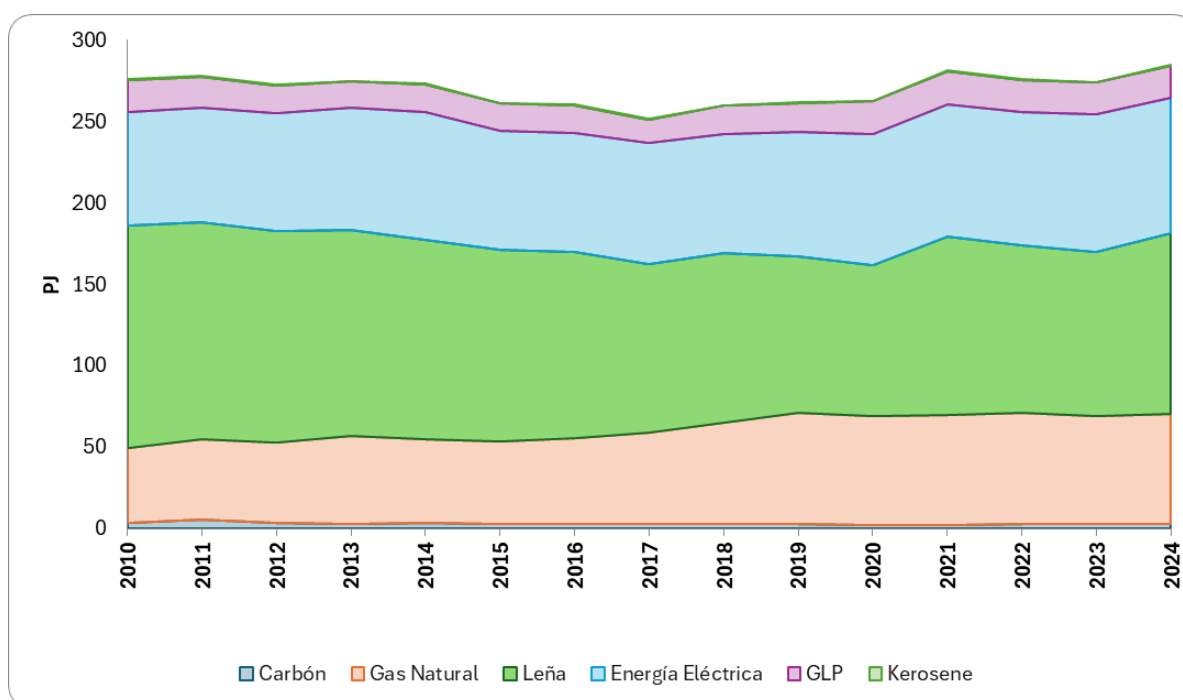
disponibilidad tecnológica, la competitividad de las nuevas soluciones energéticas y las particularidades de cada subsector industrial.

Sector Residencial

El sector residencial representó el 19% del consumo final de energía del país en 2024. Su estructura de demanda se encuentra estrechamente vinculada a los usos térmicos. En particular, a la cocción, que concentra cerca del 70% de la energía final consumida por los hogares. En consecuencia, el consumo residencial se concentra principalmente en tres energéticos: leña, que representa cerca del 39% del total sectorial; energía eléctrica, con el 29%; y gas natural, con el 23%. En conjunto, estas fuentes explican más del 90% de la demanda energética de los hogares. Esta composición revela una característica particular del sector residencial colombiano: la coexistencia de energéticos asociados a redes e infraestructura moderna, como la electricidad y el gas natural, con una participación todavía elevada de combustibles tradicionales, especialmente la leña.

Como se observa en el **Gráfico 1-5**, entre 2010 y 2024 la matriz energética residencial experimentó cambios graduales, aunque sin una modificación sustancial de su estructura general. El consumo de gas natural aumentó aproximadamente un 48% durante el período, mientras que el consumo de leña y carbón disminuyó alrededor de un 19% y 21%, respectivamente (UPME, 2025). Esta evolución sugiere un proceso progresivo de sustitución de algunos combustibles sólidos y tradicionales. Sin embargo, la persistencia de la leña como principal energético del sector evidencia que dicha transformación ha sido parcial y territorialmente desigual.

La trayectoria observada muestra, además, que la reducción del consumo de leña no ha sido lineal. Tras disminuir durante buena parte del período analizado, su consumo presenta variaciones posteriores y un aumento en 2024. A su vez, la electricidad mantiene una participación relevante y relativamente estable, mientras que el gas natural exhibe una tendencia de crecimiento más clara en el largo plazo. En conjunto, estas dinámicas indican que la transformación de la matriz energética residencial no depende únicamente de la sustitución entre fuentes, sino también de factores como la cobertura y disponibilidad de infraestructura, las condiciones socioeconómicas de los hogares y las diferencias territoriales en el acceso efectivo a alternativas energéticas.

Gráfico 1-5. Consumo de energéticos del sector residencial entre 2010 y 2024pr

Fuente: BECO, 2024

La comparación internacional permite dimensionar esta particularidad. A nivel global, la participación de la electricidad en el consumo energético residencial ha aumentado de manera sostenida, al pasar de menos del 20% en el 2000 a cerca del 30% en la actualidad y alcanzar aproximadamente el 40% en economías avanzadas. Esta tendencia ha sido impulsada por la creciente penetración de electrodomésticos y la electrificación de usos finales, particularmente la calefacción (IEA, 2025). En América Latina y el Caribe, este proceso se desarrolla, además, sobre una matriz eléctrica comparativamente baja en carbono, en la que cerca del 60% de la generación proviene de fuentes renovables y la hidroelectricidad representa alrededor del 45% (IEA, 2023).

Frente a estas tendencias, Colombia mantiene una participación elevada de la leña y otros combustibles de uso ineficiente en el consumo residencial, lo que evidencia la coexistencia de procesos de modernización energética con brechas persistentes en el acceso a soluciones limpias para la cocción. Estas brechas presentan una marcada dimensión territorial: cerca del 91,51% de los hogares que utilizan este tipo de combustibles se localiza en zonas rurales, donde aproximadamente el 40,08% de los hogares cocina con ellos y la leña constituye el energético predominante, con una participación del 38,01% (UPME, 2023). Esta caracterización evidencia que la permanencia de la leña en la matriz residencial trasciende el ámbito estrictamente energético y plantea desafíos asociados a la equidad en el acceso, las condiciones territoriales de la transición y la salud pública (DANE, 2024; UPME, 2023).

Ahora bien, vale la pena mencionar un efecto adverso significativo generado por la cocción con leña, este es la exposición a la contaminación del aire en los hogares derivada del uso de combustibles contaminantes para la cocción se asocia con enfermedades no transmisibles, entre ellas el accidente cerebrovascular, la cardiopatía isquémica, la

enfermedad pulmonar obstructiva crónica y el cáncer de pulmón, con impactos desproporcionados sobre mujeres y niños (OMS, 2025).

Desde la perspectiva de la planeación energética de largo plazo, esta configuración plantea un desafío que trasciende la reducción de emisiones. La sustitución progresiva de la leña y otros combustibles tradicionales debe considerar las condiciones económicas, culturales y territoriales que determinan las decisiones energéticas de los hogares, así como la disponibilidad efectiva de alternativas asequibles y confiables. En este sentido, la transición del sector residencial requerirá articular la expansión del acceso a soluciones energéticas modernas y limpias con medidas de eficiencia energética y estrategias diferenciadas de cocción limpia, de manera que la transformación de la matriz contribuya simultáneamente a reducir impactos ambientales y sanitarios y a cerrar las brechas existentes entre hogares y territorios.

Sector Terciario

El sector terciario comprende las actividades económicas orientadas principalmente a la provisión de servicios e incluye, entre otras, el comercio, las actividades financieras y de seguros, los servicios inmobiliarios, el turismo y la hotelería, la educación, la salud, la administración pública y las telecomunicaciones. Aunque estas actividades representan alrededor del 60% del PIB nacional, su participación en el consumo final de energía es comparativamente reducida y se sitúa en aproximadamente el 5,5%. Esta diferencia responde a una estructura productiva que demanda menos energía en comparación con sectores como el transporte y la industria, aunque cuenta con requerimientos crecientes asociados a la expansión de edificaciones, equipamientos y servicios.

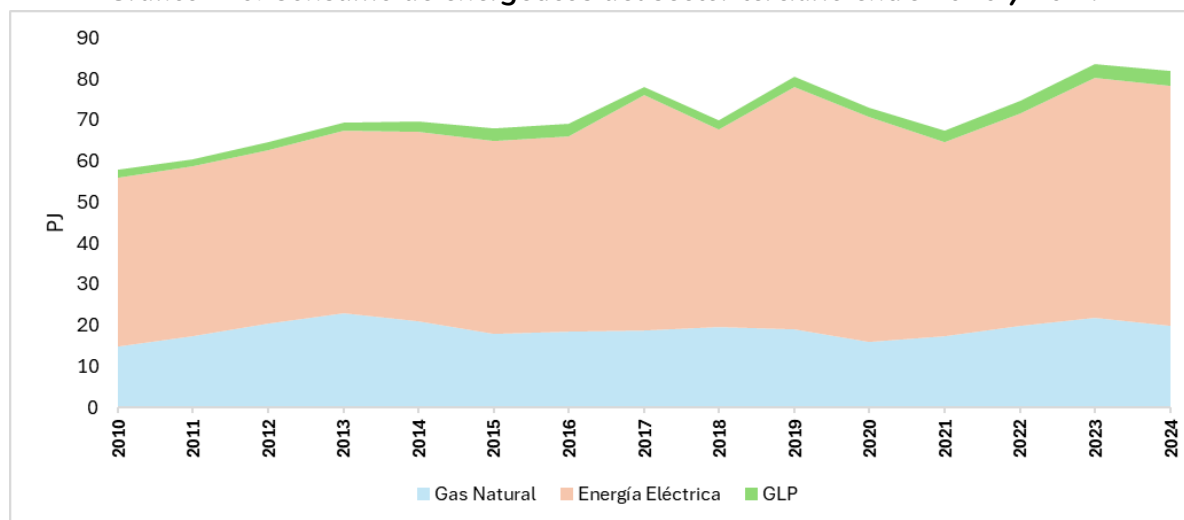
La estructura de los usos finales refleja las características propias de las actividades asociadas a este sector. La refrigeración concentra cerca del 32% del consumo energético sectorial e incluye equipos de conservación de alimentos y sistemas de climatización; le siguen la iluminación, con el 24%; el calor indirecto, con el 18%; y el calor directo, con el 11% (UPME, 2019). En conjunto, estos usos explican una parte sustancial de la demanda del sector y evidencian la importancia de los sistemas de acondicionamiento térmico, iluminación y equipos asociados a la operación de edificaciones y establecimientos de servicios.

Esta configuración se refleja en la composición de la matriz energética sectorial, ampliamente dominada por la electricidad, que representa cerca del 72% del consumo final, seguida por el gas natural con el 24% y el GLP con el 4%. Como se observa en el **Gráfico 1-6**, entre 2010 y 2024 el consumo final de energía del sector presentó una tendencia general de crecimiento, aunque con fluctuaciones a lo largo del período. En particular, el consumo de electricidad aumentó aproximadamente un 42%, mientras que el gas natural creció cerca del 34% y el GLP alrededor del 89%. No obstante, dado el reducido peso inicial de este último energético, su elevado crecimiento relativo no se tradujo en una modificación sustancial de la estructura sectorial, que continuó caracterizándose por el predominio de la electricidad.

La trayectoria del consumo muestra, además, variaciones que sugieren una relación estrecha con el dinamismo de las actividades comerciales y de servicios. Tras el crecimiento

observado durante buena parte de la primera mitad de la década de 2010, el consumo total presentó fluctuaciones posteriores, con reducciones visibles en 2018, 2020 y 2021 y una recuperación a partir de 2022. En particular, la contracción registrada en 2020 es consistente con las restricciones a la movilidad y al funcionamiento presencial de establecimientos comerciales, oficinas, hoteles y otros servicios durante la pandemia de COVID-19. Posteriormente, la recuperación de la actividad económica y la normalización de estas actividades contribuyeron al repunte de la demanda, que alcanzó su mayor nivel del período en 2023 y presentó una leve disminución en 2024.

Gráfico 1-6. Consumo de energéticos del sector terciario entre 2010 y 2024



Fuente: BECO, 2024

Pese al crecimiento de la demanda, el sector presenta un amplio margen para mejorar el aprovechamiento de la energía consumida. La relación entre energía útil y energía final alcanza aproximadamente el 33%, lo que evidencia pérdidas relevantes en la conversión y utilización de la energía y, al mismo tiempo, un potencial significativo de eficiencia energética (UPME, 2019). Dada la composición de los usos finales, las principales oportunidades se concentran en la modernización de sistemas de refrigeración y climatización, la sustitución de tecnologías de iluminación y la optimización de equipos asociados a procesos de calor indirecto. Estas medidas adquieren especial relevancia en un contexto de expansión del sector servicios, pues permitirían moderar el crecimiento de la demanda sin limitar la prestación de servicios ni la actividad económica.

Desde la perspectiva de la planeación energética, la transformación del sector terciario deberá orientarse no solo a atender el crecimiento de la demanda asociado a la expansión de los servicios, sino también a mejorar la eficiencia de los equipos y edificaciones que determinan sus principales usos finales. En este sentido, la modernización tecnológica, la gestión eficiente de la demanda y la incorporación de criterios de desempeño energético en sistemas de climatización, refrigeración e iluminación serán determinantes para contener el crecimiento del consumo y aprovechar las ventajas de una matriz sectorial ya altamente electrificada.

El análisis del consumo final de energéticos en Colombia, tanto a nivel nacional como por sectores económicos, permite comprender la estructura histórica real del sistema

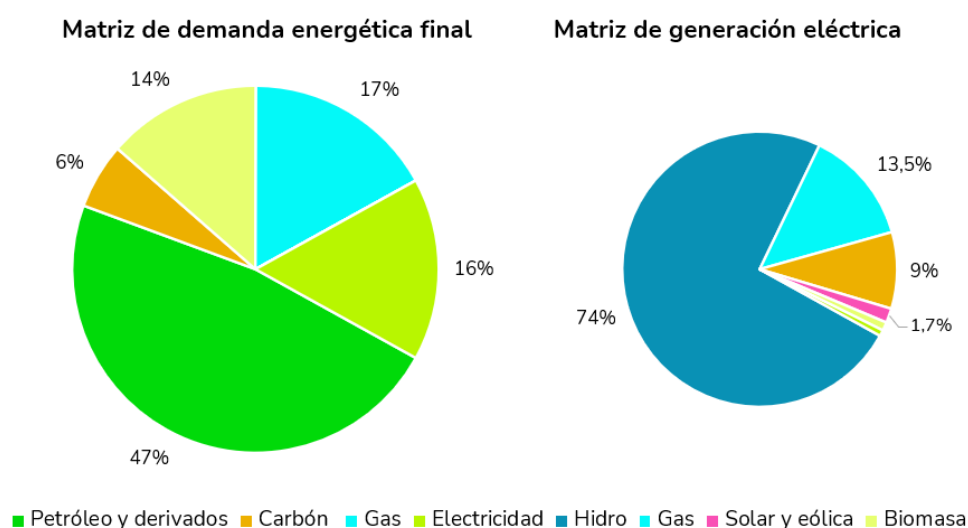
energético del país y sus principales dinámicas de uso. Además, es clave para identificar tendencias de demanda, evaluar avances en la diversificación de fuentes, reconocer retos estructurales en la diversificación en sectores con alta dependencia de combustibles fósiles, y orientar políticas de eficiencia y sustitución energética con mayor precisión.

A nivel nacional se ha evidenciado la disminución en el uso de algunos energéticos como la leña y el carbón, y un aumento en la participación de combustibles como el gas natural, el GLP, y la electricidad. Sin embargo, la alta dependencia de los combustibles fósiles, especialmente en el transporte y parte de la industria, así como una participación significativa de la biomasa en sectores rurales e industriales, plantean desafíos importantes para avanzar hacia un sistema energético más limpio, resiliente y alineado con los compromisos climáticos del país.

En ese contexto, y considerando el rol central que tendrá la diversificación hacia fuentes bajas en emisiones como motor de la transición energética justa, es fundamental diferenciar entre dos componentes clave del sistema energético: la matriz eléctrica, que se refiere exclusivamente a las fuentes empleadas para la generación de electricidad, y la matriz de demanda energética final, que comprende todas las fuentes utilizadas para cubrir la demanda final de energía en los distintos sectores económicos.

Esta diferenciación permite entender mejor los avances y las brechas en la descarbonización del sistema energético colombiano: Mientras que la matriz eléctrica ya presenta una alta participación de fuentes renovables -principalmente a partir de hidroeléctricas-, la matriz de demanda final de energía continúa dependiendo de los combustibles fósiles, en particular por el consumo intensivo del sector transporte. En el **Gráfico 1-7** se presenta un análisis comparativo entre ambas matrices, con énfasis en sus características estructurales, principales fuentes, y su evolución reciente.

Gráfico 1-7. Matriz de demanda energética final y matriz de generación eléctrica (2023)



Fuente: (BECO, 2023); y (XM, 2024)

Si bien la matriz de generación eléctrica de Colombia es una de las más limpias del mundo, aún un 30% de la capacidad instalada está compuesta por tecnologías que utilizan combustibles fósiles (gas natural, diésel, carbón, etc.). Entre 2010 y 2023 la capacidad efectiva neta del Sistema Interconectado Nacional (SIN) aumentó aproximadamente en un 50%, al pasar de 13 a 20 GW. En este periodo la energía hidráulica mantuvo la mayor participación, y alcanzó una capacidad de 13 GW para el año 2023.

La generación de energía eléctrica en Colombia depende en gran medida de las hidroeléctricas, una fuente renovable pero vulnerable a las variaciones climáticas, especialmente durante fenómenos como El Niño. Esta vulnerabilidad ha propiciado un aumento en la generación con combustibles fósiles, en particular con carbón, durante los años de sequía, como 2010, 2015 y 2020.

El crecimiento de la demanda eléctrica, el lento desarrollo de fuentes renovables no convencionales y la entrada de nueva capacidad térmica, han propiciado una mayor participación de los combustibles fósiles en la generación eléctrica al 28% en 2010, 32% en 2015, y 23% tanto en 2020 como en 2023. No obstante, en los últimos años, la generación renovable a partir de fuentes no convencionales de energía ha mostrado un crecimiento significativo, al pasar de representar el 0,43% en 2010 al 3% en 2023, participación que va en aumento (XM, 2024).

Lo anterior permite evidenciar la necesidad de seguir avanzando en la descarbonización del consumo de energía, apostando por una mayor electrificación basada en fuentes que generen menos emisiones. Lo anterior implica una diversificación de la matriz eléctrica incluyendo energías renovables no convencionales, como la biomasa, solar y la eólica, para reducir los riesgos que traen los fenómenos climáticos extremos y asegurar un suministro de energía más seguro, resiliente y sostenible. Esta vulnerabilidad de la matriz energética colombiana ante eventos climáticos resalta la necesidad de diversificar las fuentes de generación para asegurar una oferta confiable, resiliente y baja en emisiones.

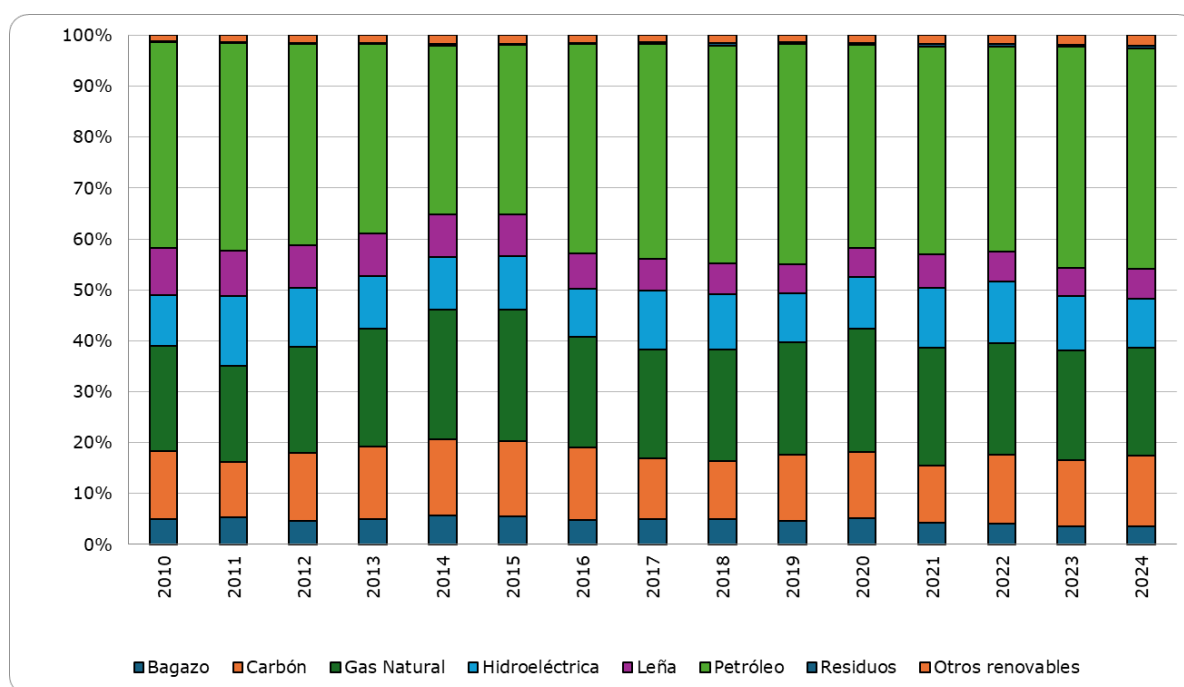
2.2. ¿Con qué recursos contamos? Análisis de la oferta primaria y exportaciones de energéticos en Colombia: evolución histórica, tendencias actuales y desafíos futuros

La oferta primaria de energía en Colombia se ha sustentado históricamente en el aprovechamiento de recursos fósiles e hídricos, configurando una estructura energética que cumple simultáneamente funciones de abastecimiento interno y de inserción en los mercados internacionales de energía. Esta condición ha estado estrechamente ligada a la producción de petróleo, carbón y gas natural, así como al aprovechamiento del potencial hidroenergético del país. Actualmente, enfrenta nuevos desafíos derivados de la transición energética global y de las transformaciones que experimentan los mercados energéticos internacionales

Durante la última década, la oferta energética colombiana ha mostrado señales de transformación gradual, aunque continúa sustentándose principalmente en combustibles

fósiles. Entre 2010 y 2024, las exportaciones de energéticos primarios se redujeron aproximadamente un 12,4%, al pasar de 3.196 PJ a 2.799 PJ, como resultado de la disminución en la extracción de algunos recursos energéticos, particularmente gas natural (ver **Gráfico 1-8**). No obstante, los combustibles fósiles continúan representando cerca del 90% de la oferta bruta de energía del país y mantienen un papel predominante tanto en la estructura de producción como en las exportaciones energéticas. En contraste, las fuentes renovables han incrementado gradualmente su participación en la oferta energética, pasando de 3,8% en 2010 a 6% al año 2023, impulsadas principalmente por el aprovechamiento hidroeléctrico y, en menor medida, por la incorporación de proyectos solares y eólicos

Gráfico 1-8. Oferta de energía primaria Colombia 2010-2024



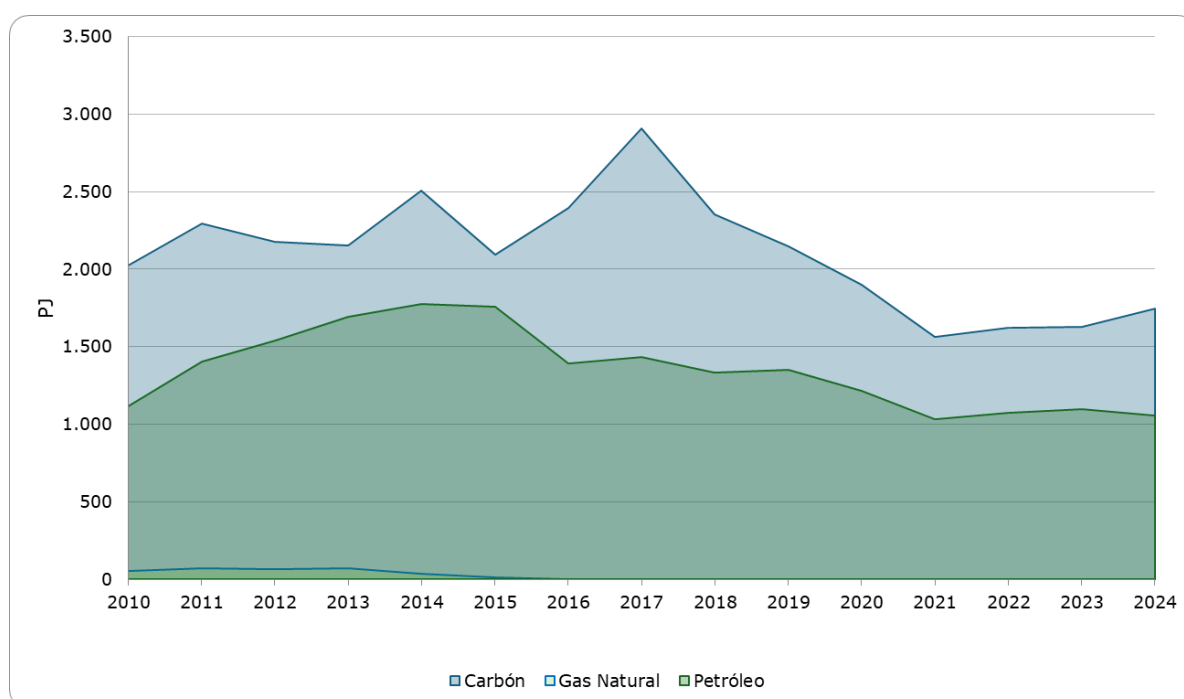
Fuente: (BECO, 2024)

La producción y exportación de recursos energéticos ha desempeñado un papel relevante en la economía colombiana durante las últimas décadas. Los hidrocarburos y minerales energéticos han constituido una fuente importante de divisas y una parte significativa de las exportaciones nacionales, representando el 59% de las exportaciones totales del país en 2010 y el 52% en 2023 (DANE, 2025). Aunque esta participación ha mostrado una tendencia decreciente, los energéticos continúan ocupando un lugar destacado dentro de la estructura exportadora colombiana, evidenciando la estrecha relación existente entre la evolución del sector energético y el desempeño económico del país.

Las exportaciones energéticas de Colombia han estado históricamente concentradas en el carbón y el petróleo, que continúan representando la mayor parte de la canasta exportadora del sector (**Gráfico 1-9**). No obstante, durante la última década se observa una reducción gradual de los volúmenes exportados de ambos energéticos. Las exportaciones de carbón comenzaron a disminuir a partir de 2015 y las de petróleo desde 2017, reflejando cambios

tanto en las dinámicas de producción nacional como en las condiciones de los mercados internacionales. En 2024, el carbón continuó siendo el principal energético exportado, con una participación del 62,3% frente al 63,4% registrado en 2024. Sin embargo, durante este periodo el volumen exportado se redujo aproximadamente un 14% lo que refleja una pérdida progresiva de protagonismo en el mercado internacional. Por su parte, el petróleo incrementó su participación relativa dentro de las exportaciones energéticas, pasando del 34,8% al 37,7% entre 2010 y 2024, aunque sus exportaciones registraron una reducción cercana al 5% respecto a los niveles observados al inicio del período. En contraste, el gas natural, que en 2010 representaba el 1,8% de las exportaciones energéticas, desapareció por completo del portafolio exportador desde 2016, y mantuvo esta condición hasta 2024, principalmente como resultado de las restricciones de oferta interna y de la priorización del abastecimiento del mercado nacional.

Gráfico 1-9. Exportaciones de energéticos primarios en Colombia 2010-2024



Fuente: (BECO, 2024)

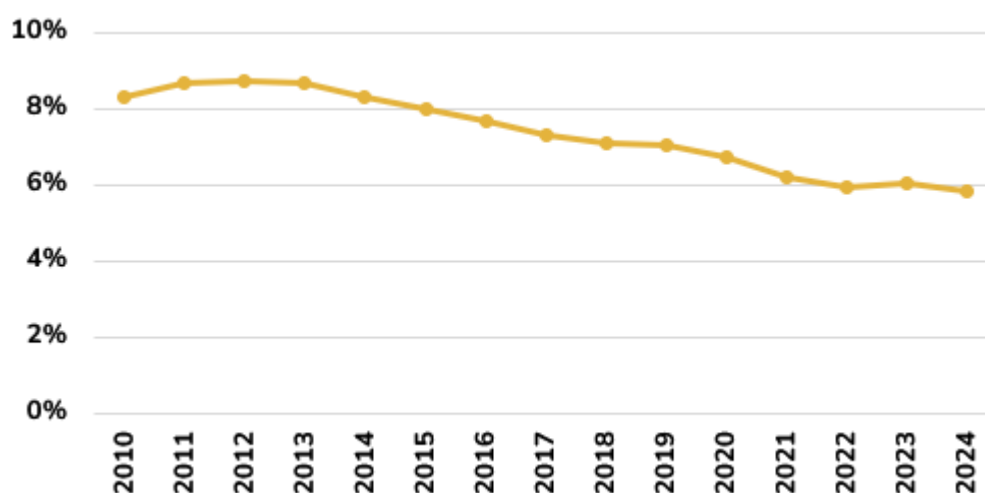
La evolución reciente de las exportaciones energéticas colombianas se desarrolla en un contexto internacional caracterizado por transformaciones tecnológicas, cambios en los patrones de consumo energético, mayores exigencias ambientales y la adopción progresiva de políticas orientadas a la descarbonización de las economías. Estos factores introducen nuevos desafíos para los países cuya oferta exportable mantiene una alta participación de combustibles fósiles y resaltan la importancia de incorporar consideraciones de largo plazo en la planeación del sector energético.

La participación del sector minero-energético en el PIB colombiano mostró una tendencia decreciente entre 2010 (8,3%) y 2023 (6,1%), reflejando cambios en la estructura relativa de la economía nacional (**Gráfico 1-10**). Este comportamiento estuvo asociado, en parte, a la caída de los precios internacionales de los *commodities*, particularmente del petróleo y

algunos minerales entre 2014 y 2016, así como al mayor dinamismo observado en otros sectores económicos durante el mismo periodo. Aunque el sector minero-energético continúa desempeñando un papel relevante en la generación de ingresos, exportaciones y actividad productiva, su contribución relativa al PIB ha disminuido respecto a los niveles observados al inicio de la década pasada.

Adicionalmente, la reducción en la participación del sector minero-energético responde a presiones socioambientales crecientes, limitaciones regulatorias y la orientación nacional hacia una transición energética. Aunque se observan ligeras recuperaciones luego del impacto de la pandemia en 2020, estas no han sido suficientes para revertir la tendencia decreciente del sector en la economía colombiana.

Gráfico 1-10. Participación del sector minero energético en el PIB entre 2010 y 2024



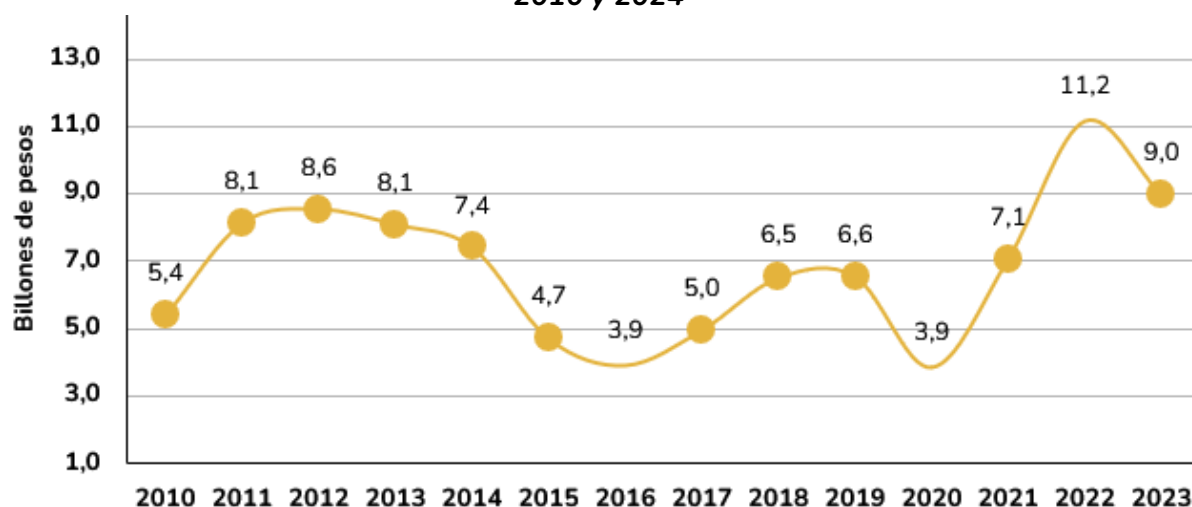
Fuente: DANE, 2024

Las regalías generadas por el sector minero-energético constituyen otro indicador relevante de su aporte a la economía nacional y a las finanzas territoriales. Entre 2010 y 2023, los ingresos por regalías pasaron de 5,4 billones a 9,0 billones de pesos (**Gráfico 1-11**). Sin embargo, esta evolución estuvo marcada por una elevada volatilidad, reflejada en los incrementos observados en 2012 y 2022, así como en las reducciones registradas en 2016 y 2020. Este comportamiento se encuentra estrechamente asociado a la evolución de los precios internacionales del petróleo y los minerales, dado que las regalías están estrechamente asociadas a los niveles de producción y a la evolución de los precios internacionales de los recursos energéticos y mineros. En este contexto, la caída registrada en 2016 coincidió con la disminución de los precios internacionales del crudo, mientras que la observada en 2020 estuvo asociada a los efectos económicos de la pandemia de COVID-19. En contraste, la recuperación registrada entre 2021 y 2022 refleja el repunte de los mercados internacionales de materias primas impulsado por la reactivación económica global y las tensiones geopolíticas que afectaron los mercados energéticos.

Durante este período también se produjo una transformación relevante en la distribución de los recursos provenientes del Sistema General de Regalías (SGR). El Acto Legislativo 05 de 2019 y su posterior reglamentación mediante la Ley 2056 de 2020 modificaron los criterios de asignación de las regalías, aumentando la participación de las entidades territoriales productoras al 25% del presupuesto del sistema. Este ajuste incrementó el

monto absoluto de las regalías destinadas a estas regiones, sin alterar el total nacional de las regalías recaudadas. Por lo tanto, aunque las regiones productoras recibieron una proporción mayor de los fondos, el monto global de regalías pagadas en el país no se vio afectado por esta reforma.

Gráfico 1-11. Aportes al sistema general de regalías del sector minero-energético entre 2010 y 2024



Fuente: ANH, 2024

Finalmente, el estado actual del sector energético y las fluctuaciones observadas en variables como uso de energéticos en la demanda, la oferta primaria, el comportamiento de las regalías, y las de exportaciones, evidencian una serie de retos urgentes para el futuro energético del país:

- Es necesario continuar avanzando en la diversificación de la matriz energética, a través de fuentes renovables no convencionales, y a su vez, en la promoción del uso eficiente de la energía y su gestión en la demanda.
- Colombia debe garantizar una transición justa que compense los impactos sociales y económicos en las regiones productoras, donde la dependencia de las rentas extractivas es alta y la transformación productiva debe fortalecer su planeación hacia una economía diversificada.
- Es fundamental asegurar mecanismos estables y progresivos de financiación para la inversión pública territorial, en especial ante la volatilidad de las regalías.
- Finalmente, el país enfrenta el reto de alinear sus compromisos climáticos internacionales con una política energética y económica que siga siendo motor de desarrollo, lo que exige una planeación robusta, coherencia regulatoria y una gobernanza que articule a todos los niveles del Estado con el sector privado, y los demás actores involucrados en las cadenas de valor de la energía, en beneficio de las comunidades.

3. ENERGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

La quema de combustibles fósiles en la producción de energía libera dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), gases que intensifican el efecto invernadero y provocan un aumento de las temperaturas globales, con consecuencias directas en la variabilidad climática (IPCC, 2014). En este sentido, la transición a fuentes de energía más limpias y sostenibles es esencial para abordar el cambio climático.

Si bien en Colombia la principal fuente de emisiones corresponde a la silvicultura, usos y cambio de uso de la tierra (AFOLU), esto no exime a los demás sectores de avanzar hacia la descarbonización, por lo que el trabajo intersectorial es clave para abordar el cambio climático. A través de la articulación de los esfuerzos de los diferentes sectores se facilita la integración de las acciones que permiten mitigar las emisiones GEI, contar con territorios resilientes y adaptados al cambio climático.

En este contexto, Colombia, como país firmante del Acuerdo de París, se ha sumado a los compromisos internacionales y ha avanzado en el desarrollo de un marco normativo para combatir el cambio climático. En los últimos años se destacan normativas y estrategias nacionales relacionadas con el cambio climático y la transformación energética, entre ellas:

- Ley 164 de 1994 por medio de la cual se aprueba la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático - CMNUCC” (MinAmbiente, 2020).
- Ley 1715 de 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
- Ley 1753 de 2015 por medio de la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018 “Todos por un nuevo país”, en su artículo 170 se establece que los ministerios de Hacienda, Agricultura y Desarrollo Rural; Minas y Energía; Transporte, Salud y Protección Social, Vivienda, Ciudad y Territorio, y Comercio, Industria y Turismo, deberán formular e implementar planes sectoriales de mitigación y adaptación al cambio climático (Función Pública, 2015).
- Ley 1931 de 2018 por medio de la cual se establecen "Directrices para la gestión de cambio climático" (Función Pública, 2018).
- Resolución 1447 de 2018 por medio de la cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional de las que trata el artículo 175 de la Ley 1753 y se dictan otras disposiciones (MinAmbiente, 2018).
- Ley 2169 de 2021 tiene por objeto establecer metas y medidas mínimas para alcanzar la carbono neutralidad, la resiliencia climática y el desarrollo bajo en carbono en el país en el corto, mediano y largo plazo, en el marco de los compromisos internacionales asumidos por la República de Colombia sobre la materia. El Título II incluye metas en materia de mitigación y adaptación establecidas en la “Actualización

de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia -NDC”, sometidas ante la CMNUCC (Gobierno de Colombia, 2021).

- Ley 2099 de 2021 por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones (Función Pública, 2021).
- Estrategia Climática de Largo Plazo - E2050, es un instrumento de política de Estado que orienta las acciones nacionales, sectoriales y territoriales. Así mismo constituye un ejercicio de planeación de largo plazo que demuestra el compromiso para contribuir con el logro de los objetivos globales plasmados en el Acuerdo de París; se incluyen diversas apuestas para alcanzar la resiliencia climática y socioecológica en Colombia (Gobierno de Colombia, 2021).

Igualmente, en el Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026 “Colombia, Potencia Mundial de la Vida” (DNP, 2023), se incluyen aspectos clave relacionados con la Transformación productiva, internacionalización y acción climática, dentro de los cuales se destacan la transición económica para alcanzar la carbono neutralidad y consolidar territorios resilientes al clima así como la transición energética justa, segura, confiable y eficiente.

Así mismo, como aporte a los compromisos en términos de cambio climático, Colombia presenta los Reportes Bienales de Actualización (BUR) o Reportes de Transparencia Climática (BTR) ante la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El último reporte presentado incluyó la estimación de GEI de la serie histórica 1990 a 2021. En el módulo energía se incluyen las emisiones relacionadas con:

- Combustión estacionaria en las industrias de la energía (1A1);
- Industrias manufactureras y de la construcción (1A2), en sectores como el residencial, comercial – institucional, agricultura, silvicultura y pesca (1A4); así como las generadas en combustión móvil en el sector transporte (1A3);
- Emisiones fugitivas por actividades en minería, petróleo y gas natural (1B1, 1B2) (IDEAM, 2024).

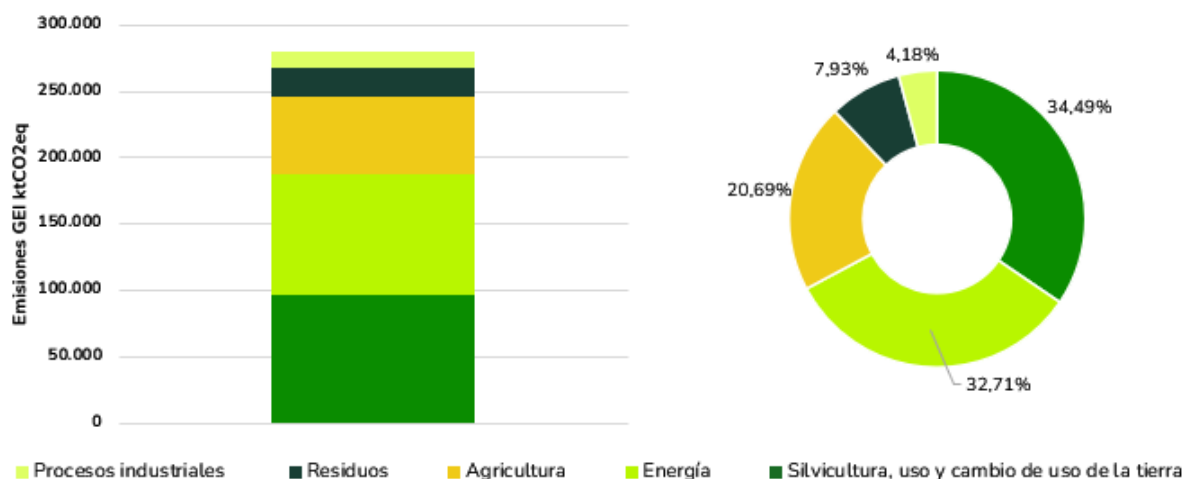
Además, en el documento BTR se reportan las acciones desarrolladas por el sector minero energético, especialmente respecto a eficiencia energética, gestión de la demanda, generación de electricidad y emisiones fugitivas, tal como se detalla en el apartado de acciones de mitigación del sector.

3.1. Reporte Emisiones Gases Efecto Invernadero (GEI)

En el año 2024 Colombia presentó el Primer Reporte de Transparencia (BTR) que incluye el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) para la serie temporal 1990 – 2021. Para este último año de reporte se observa que los sectores relacionados con la agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de la tierra (Módulo AFOLU) son los principales aportantes a las emisiones de gases de efecto invernadero GEI, con una contribución del 55,2%, seguido del módulo energía que aporta el 32,7%, el módulo

residuos el 7,9% y el módulo de procesos industriales y uso de productos (IPPU) aporta el 4,2% restante. En el **Gráfico 2-1** se presenta el aporte de emisiones en cada módulo (IDEAM, 2024).

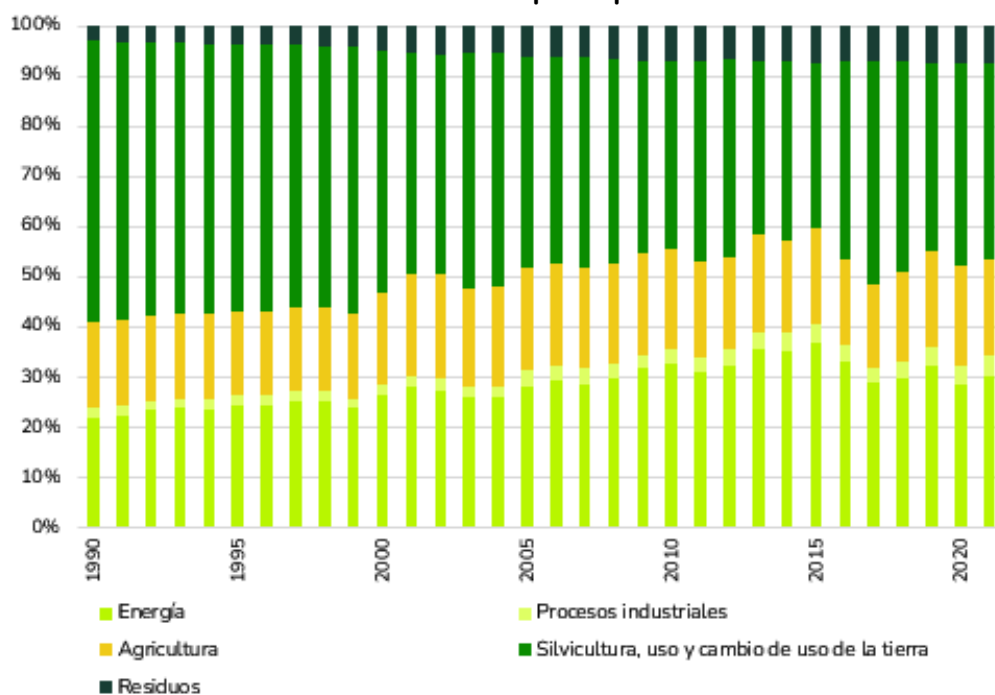
Gráfico 2-1. Resultados emisiones GEI 2021



Fuente: Adaptado de (IDEAM, 2024)

Cabe destacar que las emisiones totales del país aumentaron un 33 % entre 1990 y 2021, con una tendencia creciente especialmente en la última década (**Gráfico 2-2**). Durante este periodo, el sector energético mantuvo su participación relativa frente a los demás sectores, lo que indica que, a pesar de algunos avances, no se ha logrado una reducción significativa de sus emisiones.

Gráfico 2-2. Evolución histórica de la participación de las emisiones GEI

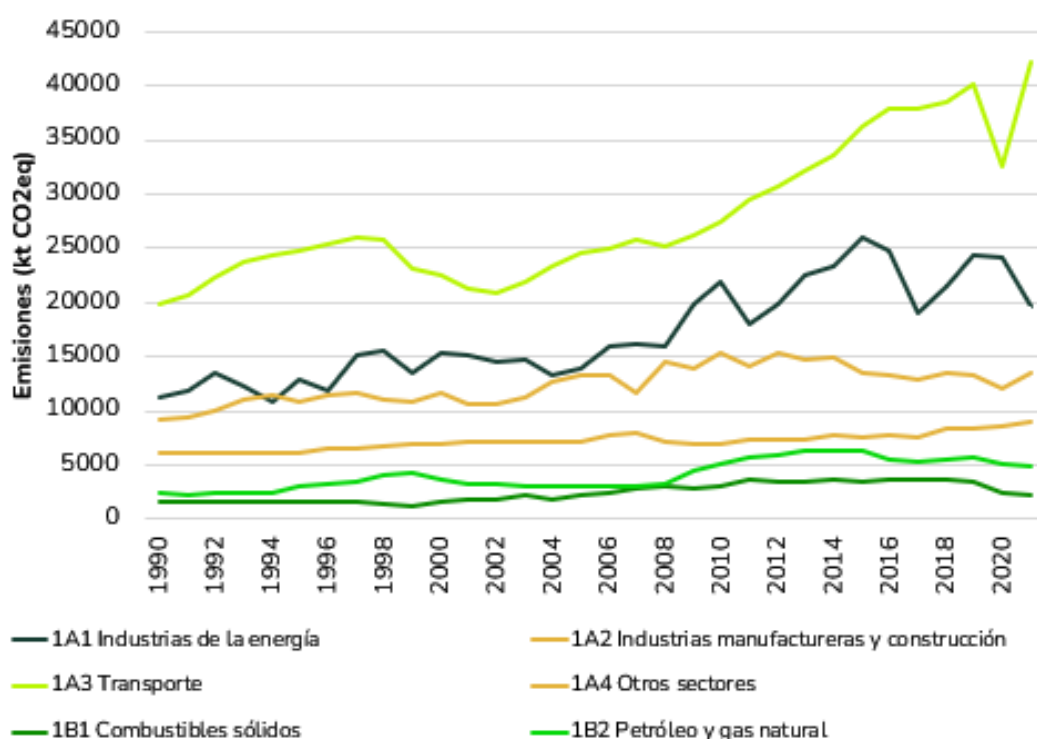


Fuente: Adaptado de (IDEAM, 2024)

Al analizar la evolución histórica de las emisiones GEI del módulo energía se observa que las emisiones de las subcategorías industrias manufactureras y de la construcción, y otros sectores (comercial, residencial, agrícola) se mantienen a lo largo de la serie histórica (**Gráfico 2-3**), mientras que las emisiones de la subcategoría de transporte crecieron en 113% en el periodo 1990 - 2021, principalmente como consecuencia al crecimiento del parque automotor.

Las emisiones de industrias de la energía presentan un incremento del 74% en el mismo periodo de análisis. No obstante, la serie a lo largo muestra una tendencia variable asociada con el consumo de combustibles en centrales térmicas para la generación de electricidad. Finalmente, las emisiones fugitivas¹ (categorías 1B1 y 1B2) muestran una evolución constante en el periodo 1990 - 2021.

Gráfico 2-3. Evolución histórica de las emisiones GEI del módulo energía

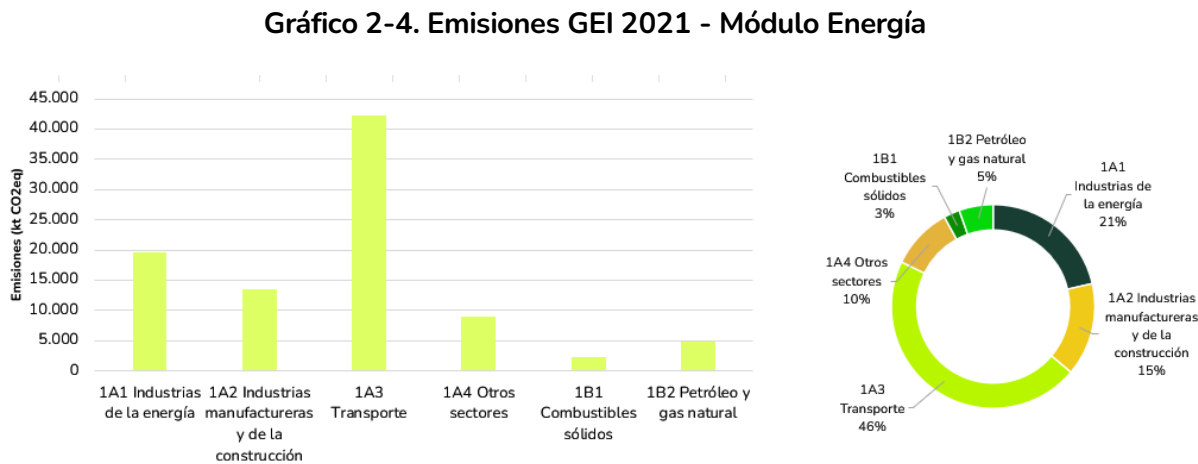


Fuente: Adaptado de (IDEAM, 2024)

De acuerdo con lo reportado, en el año 2021 las emisiones del módulo energía fueron 91.610,54 ktCO₂eq y representaron el 32,7% del total de las emisiones nacionales. El transporte generó 42.170,57 ktCO₂eq, las actividades asociadas con las industrias de la energía 19.593,86 ktCO₂eq, la quema de combustible en industrias manufactureras y de la construcción 13.535,02 ktCO₂eq, las emisiones fugitivas 7.271,31 ktCO₂eq, la quema de combustibles en sectores residencial y comercial 7.466,16 ktCO₂eq, y el sector agrícola

¹ Las emisiones fugitivas son aquellas que no están canalizadas y se producen a través de fugas o pérdidas graduales de producto en diferentes equipos o componentes. Las emisiones fugitivas son difíciles de cuantificar, detectar y corregir, y son un tipo de emisión no canalizada.

1.573,62 ktCO₂eq (IDEAM, 2024). En el **Gráfico 2-4** se presentan los resultados para 2021 desagregados por subcategorías del módulo energía.



Fuente: Adaptado de (IDEAM, 2024)

3.2. Acciones de mitigación del cambio climático

A partir de la Ley 2169 de 2021 “*Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones*” (SUIN, 2021), se establecen diversas medidas con el fin de lograr las metas de mitigación del país. En la **Tabla 2-1** se resumen las metas asociadas tanto al sector minero energético, como aquellas relacionadas a los usos de la energía, las cuales deben abordarse de forma integral entre los diferentes ministerios y actores que conforman cada sector.

Tabla 2-1. Medidas para el logro de las metas país en materia de mitigación de GEI

Ministerio	Medidas del sector
Minas y Energía	Acciones de eficiencia energética en la cadena de la energía eléctrica, hidrocarburos y minería, con metas y estrategias para la mejora energética, reducción de emisiones y cuantificación de los co-beneficios asociados.
	Actividades que favorezcan la adecuada gestión de las emisiones fugitivas en la cadena de hidrocarburos, centrándose en la reducción de fugas, la recuperación de gas asociado, la implementación de medidas de eficacia de quema y la mejora de la información sobre la generación de emisiones fugitivas y medidas para su captura, recuperación y/o aprovechamiento con el fin de monitorear, controlar y reducir dichas emisiones.
	Acciones para reducir la diferencia de consumo de energía eléctrica entre horas pico y valle, buscando un aplanamiento de la curva de demanda y la disminución de las emisiones del Sistema Interconectado

Ministerio	Medidas del sector
	Nacional (SIN), a través de la gestión de la generación con fuentes menos contaminantes.
	La diversificación de la matriz energética nacional y la transformación de las Zonas No Interconectadas (ZNI), mediante la dinamización de la generación eléctrica y autogeneración a través de Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER), así como el aumento de la cobertura para la prestación del servicio de energía eléctrica, por medio del uso de tecnologías confiables con un menor factor de emisión o su integración al Sistema Interconectado Nacional.
	Para estimular la conversión de carbón a energías más limpias, los agentes de las cadenas de energía eléctrica y gas combustible podrán viabilizar nuevos proyectos o ampliaciones que impliquen el aumento de la demanda.
Vivienda, Ciudad y Territorio	Fomentar la implementación de sistemas de captura y quema tecnificada de biogás en rellenos sanitarios existentes o en el diseño de nuevos rellenos sanitarios o nuevas celdas, así como las actividades de monitoreo y seguimiento alineadas con el cumplimiento de los compromisos sectoriales aplicando la adicionalidad para la eficiencia en la implementación de los sistemas.
	Promover el diseño e implementación de sistemas de aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios existentes y el diseño de nuevos rellenos o nuevas celdas, llevando a cabo estudios de viabilidad técnica y económica que permitan garantizar la operación de estos sistemas.
	Promover edificaciones sostenibles, mediante la implementación de estrategias para el uso eficiente del agua y la energía en las edificaciones nuevas del país.
Agricultura y Desarrollo Rural	Acciones para promover en los sistemas productivos agropecuarios la transferencia tecnológica y uso de energía alternativa, la disminución de las quemas, un menor gasto energético en el laboreo del suelo, así como fomentar acciones de reforestación y protección de coberturas naturales aledañas a las zonas de producción.
	Acciones para aumentar las absorciones de GEI, mediante la promoción de cultivos agro-energéticos y aprovechamiento de biomasa para la producción de biocombustibles y bioenergía.
	Acciones para reducir las emisiones de GEI en la agroindustria, fomentando la implementación de sistemas de captura y uso de biogás derivado de la biomasa residual de los procesos agroindustriales.
Ambiente y Desarrollo Sostenible	Acciones destinadas a la promoción y desarrollo de buenas prácticas y uso eficiente de los recursos boscosos mediante la sustitución de fogones tradicionales por la instalación de un millón de estufas eficientes de cocción por leña para el periodo 2021-2030.

Ministerio	Medidas del sector
	Acciones destinadas a la promoción y desarrollo de buenas prácticas y uso eficiente del recurso energético en usuarios finales, incluyendo, pero sin limitarse al ascenso tecnológico en refrigeración doméstica, aire acondicionado y la masificación y promoción de distritos térmicos en Colombia, como fuentes centralizadas de energía.
Industria, Comercio y Turismo	Acciones que impulsen la gestión de la energía y la eficiencia energética de la industria, entre ellas las relacionadas con buenas prácticas operativas que contribuyan a la optimización del uso de los energéticos, sustitución de combustibles bajos en emisiones y cambios tecnológicos que mejoren los usos finales de la energía. La gestión de estas acciones se realizará en coordinación con el Ministerio de Minas y Energía y sus entidades adscritas y vinculadas, en el marco de sus respectivas funciones y competencias.
Transporte	Acciones que permitan acelerar la transición hacia la movilidad eléctrica, diseñando e implementando políticas con el fin de establecer estándares regulatorios y técnicos para la comercialización y operación de vehículos eléctricos de 2, 3 y 4 o más ruedas, así como la promoción de instrumentos financieros que incentiven el ingreso de vehículos eléctricos.
	Acciones que permitan avanzar hacia la paridad de precios entre las tecnologías de vehículos eléctricos y vehículos convencionales con el fin de incentivar una mayor demanda de vehículos eléctricos en el mercado.
	Acciones que permitan la concurrencia entre el gobierno nacional y los entes territoriales para incentivar la transición hacia la tecnología eléctrica en los sistemas de transporte público.
	Acciones que permitan impulsar el desarrollo y uso de los combustibles sostenibles de aviación (SAF, por sus siglas en inglés), con el fin de contribuir a la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero del sector transporte. (En conjunto con el Ministerio de Minas y Energía).

Fuente: Adaptado de (SUIN, 2021)

Particularmente, el Ministerio de Minas y Energía ha formulado su Plan Integral de Gestión de Cambio Climático del sector minero energético (PIGCCme) alineado con la Contribución Nacionalmente Determinada de Colombia (NDC) y la Estrategia de Largo Plazo E2050. En el PIGCCme se presenta una proyección de emisiones del sector, incluyendo subsectores tales como generación de energía en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), las Zonas No Interconectadas (ZNI), subsectores de petróleo, gas, carbón, ferroníquel y materiales pétreos (MinEnergía, 2021).

El PIGCCme presenta escenarios de mitigación de emisiones GEI e información base de adaptación y lineamientos para la resiliencia climática. Desde el componente de mitigación se cuenta con cinco líneas estratégicas: 1) Eficiencia energética; 2) Generación de energía;

3) Gestión de la demanda; 4) Emisiones fugitivas y 5) Sustitución energética y nuevas tecnologías.

Los escenarios modelados se encuentran alineados con los compromisos nacionales de reducir el 51% de las emisiones para el año 2030, lo que para el sector minero energético representa la reducción de 11,2000 kt CO₂eq (MinEnergía, 2024). Adicionalmente, se presenta una estimación de potencial de reducción de emisiones mayor, contemplando medidas adicionales como la compensación de emisiones a partir de certificaciones obtenidas por proyectos o iniciativas realizadas en el marco de mercados voluntarios de carbono y uso de la adicionalidad de las compensaciones ambientales obligatorias de los proyectos. Cabe resaltar que dichas metas se estiman a partir de las proyecciones de largo plazo presentadas en el Plan Energético Nacional (PEN) 2020-2050, por lo que debe evaluarse la pertinencia de su actualización.

Desde el componente de adaptación, actualmente el Ministerio de Minas y Energía (MME) viene trabajando en la actualización de amenazas, riesgos y vulnerabilidades al cambio climático, sobre una base de información más robusta, tras la actualización de escenarios futuros del IPCC en 2022 y las metodologías de análisis de riesgo diseñadas específicamente para el sistema minero energético. A través del análisis de vulnerabilidad y riesgo por Cambio Climático, el MME ha diseñado escenarios específicos para el sector energético con un modelo de ajuste regional y un mayor detalle de la escala para todo el territorio nacional, sobre esta base ha consolidado y cuantificado una batería de indicadores de amenaza y vulnerabilidad en las dimensiones de generación, operación, infraestructura, demanda, normatividad – regulatorio y relacionamiento territorial para el subsector de energía. Este conjunto de variables críticas de amenaza y vulnerabilidad constituye un referente para que el sector pueda implementar acciones específicas, que respondan a la reducción del riesgo identificado, fortaleciendo así la capacidad adaptativa sectorial y de los territorios con influencia del sector.

Respecto a los demás sectores, en el PIGCC sectorial del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, contempla la línea estratégica de mitigación relacionada con eficiencia energética y gestión de la energía (MinIndustria, 2021). El PIGCC del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, incluye la actualización de la Resolución 0549 de 2015 en relación con los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones; así como medidas de urbanismo bajo en carbono por medio del fomento del uso energías limpias en las edificaciones, los equipamientos colectivos y el espacio público de las ciudades (MinVivienda, 2020). Además, en el PIGCC y biodiversidad del Sector Hacienda se incluyen incentivos fiscales y beneficios tributarios sobre actividades relacionadas con cambio climático y biodiversidad, entre ellos el impuesto al carbono, sobretasa a la gasolina motor y el ACPM, impuesto sobre la renta, financiamiento de proyectos de eficiencia energética, energía renovable, transporte sostenible, gestión de residuos sólidos y líquidos, medidas de mitigación y adaptación al cambio climático y bioeconomía (MinHacienda, 2024).

7. DEMOCRATIZACIÓN DE LA PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA

Este capítulo presenta la apuesta metodológica y política para avanzar hacia una planeación inclusiva y participativa en el marco del PEN 2025–2055, mediante la incorporación de múltiples voces territoriales, institucionales, sectoriales, de la sociedad civil y académicas. Esta aproximación se sustenta en el compromiso de la UPME con la adopción del enfoque territorial como fundamento de la planeación sectorial, tal como se establece en la Resolución UPME 339 de 2022, la cual señala:

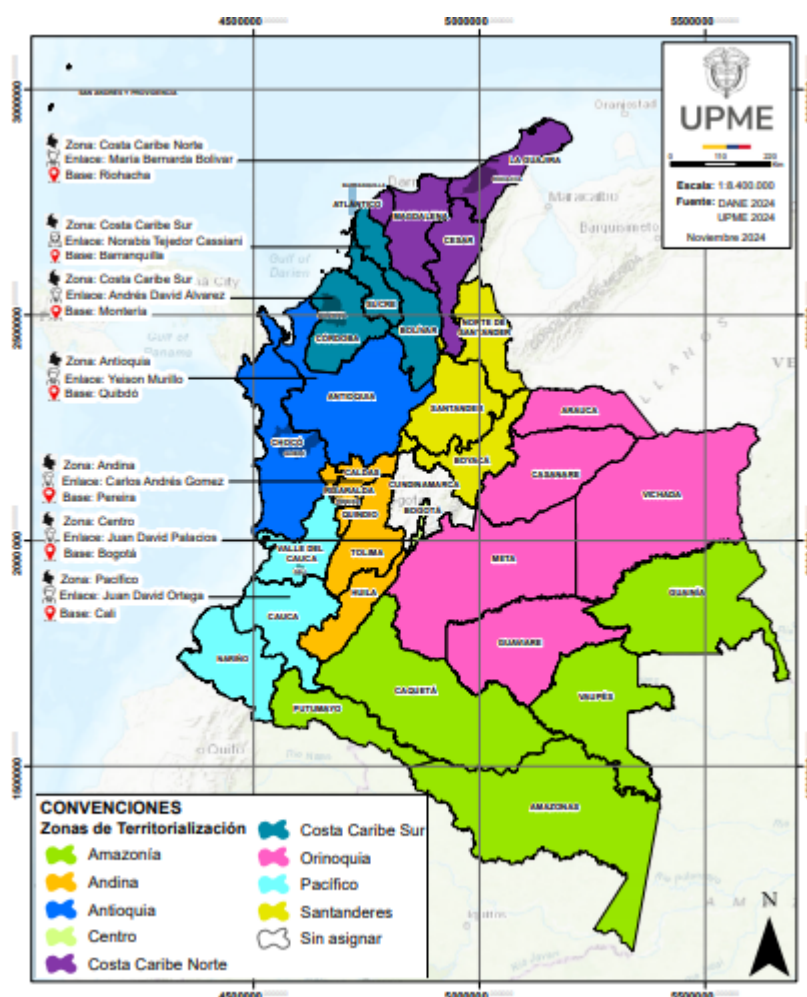
“El enfoque territorial en la elaboración de los distintos planes misionales a cargo de la UPME implica considerar, como mínimo, los siguientes principios: participación, progresividad, coordinación y concurrencia, prevención del daño y flexibilidad.”

La incorporación del enfoque territorial en la planeación sectorial representa un paso clave hacia un modelo de planeación más justo y contextualizado. Este enfoque reconoce las particularidades, capacidades y retos locales, así como los impactos directos e indirectos que los proyectos pueden generar sobre las personas, las comunidades y sus territorios. Su implementación permite avanzar hacia un desarrollo más equitativo y sostenible, minimizando los impactos negativos asociados a las iniciativas del sector.

Entre 2023 y 2025, la UPME facilitó espacios territoriales que hicieron posible recoger de manera directa las necesidades, preocupaciones y oportunidades expresadas por los actores regionales (**Gráfico 8-1**). En 2023 se contó con la participación de 380 personas en espacios realizados en 6 departamentos y 6 municipios, donde se levantaron primeras líneas de diálogo en torno a comunidades energéticas, zonas no interconectadas y sostenibilidad local. Para 2024, la cobertura se amplió significativamente con 584 personas participantes, de las cuales 449 asistieron a sesiones sobre transmisión, involucrando 20 departamentos y 25 municipios, lo que permitió captar de forma más precisa las prioridades de actores sociales, gobiernos locales y comunidades en distintos contextos territoriales. En 2025, a pesar de una reducción en el número de actividades, se mantuvo el compromiso territorial con 222 participantes en 4 departamentos y 3 municipios.

Estos espacios han fortalecido múltiples instrumentos y planes de corto, mediano y largo plazo liderados por la UPME. Entre los resultados clave se destacan caracterizaciones técnicas de comunidades energéticas en Santander, Norte de Santander y Cundinamarca; aportes territoriales para los planes como el PNSL, el PIEC y el PERS; y herramientas con enfoque de género, étnico y territorial aplicadas en proyectos de electrificación y desarrollo local. Así mismo, los convenios con universidades y actores locales han derivado en insumos técnicos para la planeación regional, metodologías participativas y materiales de formación ciudadana. Todo esto ha aportado no solo a la democratización de la planeación energética, sino también a consolidar rutas concretas hacia una Transición Energética Justa que reconozca a las comunidades como protagonistas del cambio.

Gráfico 8-1. Zonas de territorialización UPME



Fuente: (UPME, 2025)

Para la UPME, el territorio es un sistema dinámico y vivo. Una lectura adecuada del territorio requiere un enfoque multidimensional que considere variables sociales, ambientales, culturales y económicas dentro de los procesos de planeación sectorial. Por lo anterior la UPME define el territorio como:

“Además de ser la base físico-geográfica de las actividades humanas, [el territorio] comprende un conjunto organizado y complejo que involucra sistemas naturales, organizaciones humanas e institucionales, y una determinada estructura económica, social, política, cultural y administrativa, con capacidad de liderar su propio desarrollo”

En concordancia con lo anterior, el PEN 2025–2055 busca establecer una visión a largo plazo para el sector minero energético, que permita al país abordar de manera estructurada los desafíos y oportunidades asociados con la transición energética justa. Para esto es necesario adoptar un enfoque territorial participativo que reconozca al territorio como un sistema vivo y dinámico, moldeado por las interacciones entre las dimensiones económica, ambiental, sociocultural y política.

Este enfoque implica involucrar activamente a los actores, comunidades y poblaciones que habitan el territorio en todas las etapas del proceso de planeación. La participación ciudadana asegura que se integren las perspectivas, particularidades y necesidades del territorio. Ello promueve una planeación con enfoque territorial y participativa desde el diálogo social, fortalece la gobernanza territorial y facilita la construcción de consensos, así como la identificación y reducción de posibles conflictos socioambientales.

En este sentido, la UPME, considera fundamental, promover y desarrollar estrategias reales para la construcción colectiva de sus planes, como es el caso del Plan Energético Nacional (PEN) 2025 - 2055. en su construcción la participación de los diferentes actores de la sociedad, ha permitido identificar sus intereses, preocupaciones y expectativas frente a los proyectos del sector.

El PEN 2025–2055 no es solo un documento técnico, sino debe concebirse como una herramienta de planeación con una visión a largo plazo construida de manera conjunta entre el Estado, las comunidades y los territorios, con el propósito de avanzar hacia un sistema energético competitivo, confiable, equitativo, inclusivo y carbono neutral. Su legitimidad se sustenta en un proceso participativo amplio, desarrollado en diferentes regiones del país y con la participación activa de comunidades, academia, sector empresarial e instituciones del Estado. Este enfoque no solo enriqueció el contenido del PEN, sino que también aseguró su pertinencia frente a las diversas realidades del territorio.

7.1. Etapas del proceso participativo en la formulación del PEN 2025- 2055

Para la formulación del PEN, a lo largo de sus diferentes etapas de construcción, se llevaron a cabo diversos espacios de participación y socialización (Gráfico 8-2), con el propósito de construir y validar colectivamente las apuestas estratégicas, la visión y los objetivos del plan. Estos encuentros permitieron recoger insumos valiosos de múltiples actores y analizar el entorno, así como identificar las variables clave, definir tendencias y validar los escenarios energéticos que orientarán sus resultados.

Gráfico 8-2. Etapas del proceso participativo PEN 2025- 2055



Fuente: Elaboración propia, 2025

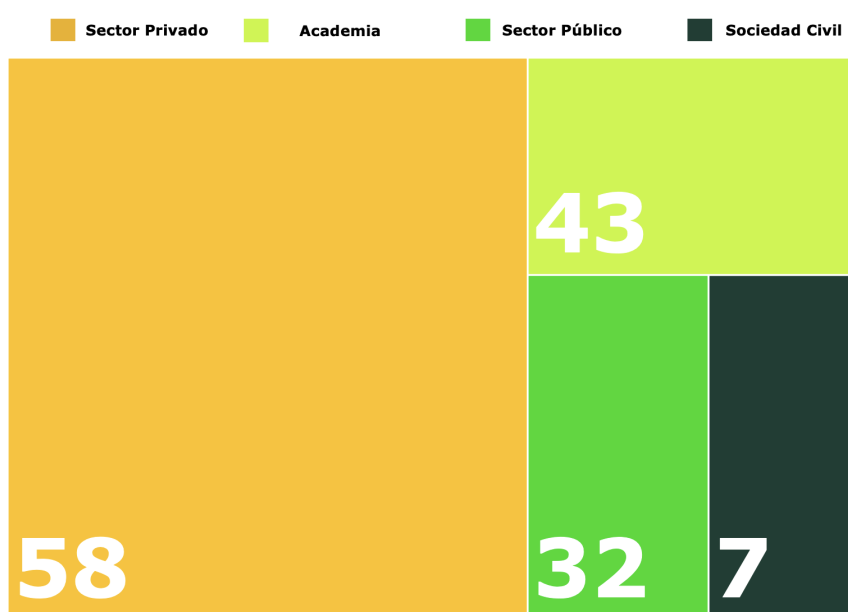
Los espacios participativos se desarrollaron de manera presencial en Bogotá, Santa Marta, y Buenaventura, así como de forma virtual, con el fin de garantizar una amplia representatividad y cobertura territorial. Además se realizaron socializaciones de los avances del PEN en Bahía Solano y Neiva.

Dichos espacios contaron con la participación de entidades del sector público, gremios y empresas del sector privado, organizaciones de la sociedad civil, academia, sindicatos del sector minero-energético y ciudadanía en general, lo que permitió integrar diversas perspectivas en la construcción de un PEN más incluyente, contextualizado y orientado a una transición energética justa.

Etapa 1. Identificación de apuestas estratégicas:

En esta primera etapa se buscó que los participantes aportaran a la construcción de las apuestas estratégicas de los planes que hacen parte del PEN 2025- 2055. Lo anterior se realizó a través de la recepción de propuestas por parte de los actores convocados, entre los que se encontraban representantes del sector académico, público, privado y organizaciones de la sociedad civil. Para esta fase, se convocó la participación de 140 personas, distribuidas como se muestra en el **Gráfico 8-3**.

Gráfico 8-3. Invitados por sector y su contribución a las apuestas estratégicas.

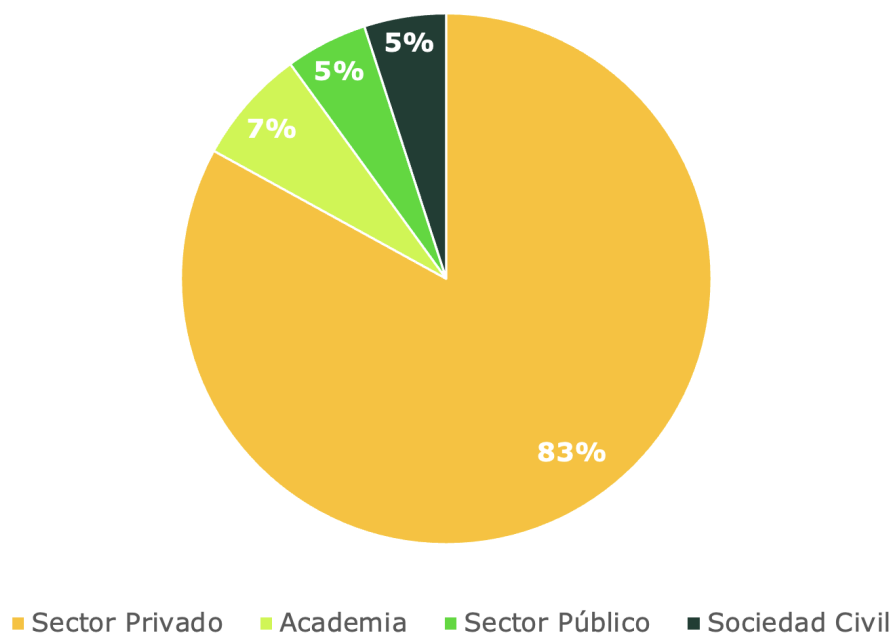


Fuente:Elaboración propia

Se recibieron un total de 239 propuestas de apuestas estratégicas, provenientes de 37 instituciones, distribuidas como se presenta en el **Gráfico 8-4**. Estas apuestas permitieron identificar prioridades, retos y oportunidades que enfrenta la planeación energética a largo plazo, desde los distintos enfoques de cada participante. Las propuestas se enfocaron en temas como el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas, la implementación de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), la mejora de la infraestructura

energética, el fortalecimiento de la eficiencia energética y la innovación en el sector industrial.

Gráfico 8-4. Invitados por sector y su contribución a las apuestas estratégicas.

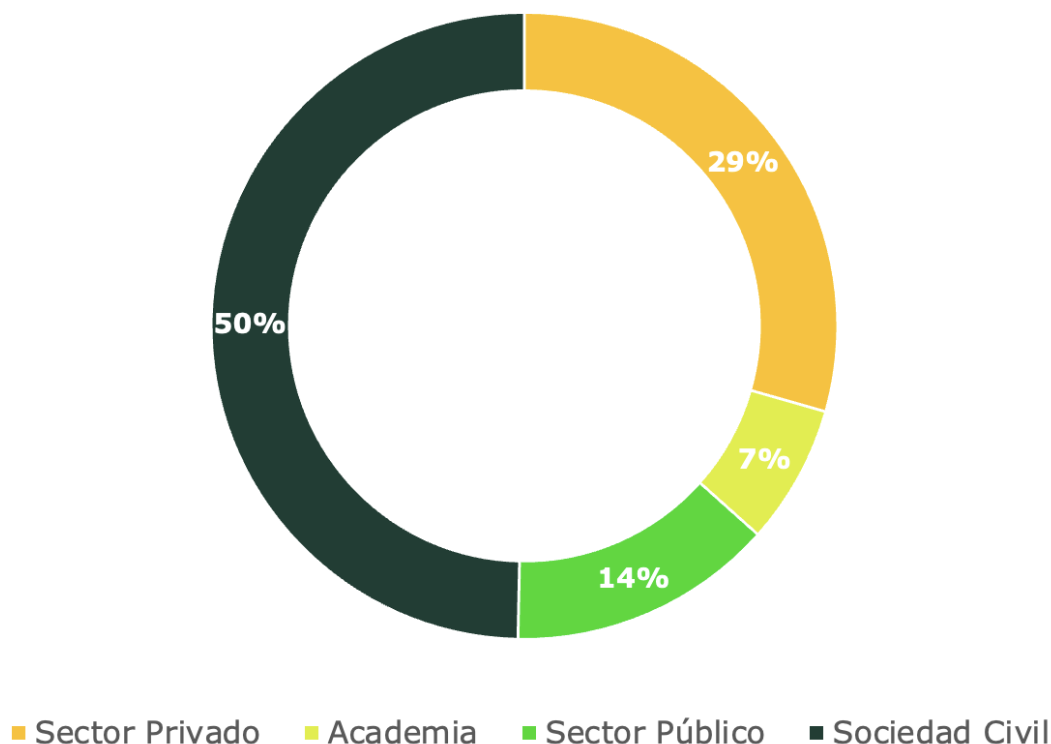


Fuente:Elaboración propia

Etapas 2. Construcción y validación de los objetivos

En esta etapa se socializaron la visión y los objetivos del PEN 2025–2055, con el propósito de validarlos o recibir recomendaciones sobre su abordaje. Para ello, se llevó a cabo un diálogo estructurado mediante mesas intersectoriales de trabajo en diferentes ciudades. En este proceso se contó con la participación de 153 personas: 75 en Bogotá, 49 en Buenaventura y 29 en Santa Marta. Los participantes representaban los sectores académico, privado, público y de organizaciones de la sociedad civil, distribuidos como se muestra en el **Gráfico 8-5**.

Gráfico 8-5. Participación de los diferentes sectores en la construcción y validación de los objetivos del PEN 2025 - 2055.



Fuente:Elaboración propia

Como resultado de esta fase de construcción colectiva de los objetivos del PEN 2025–2055, se identificó la importancia de garantizar una participación activa y sostenida de las comunidades y sectores locales a lo largo de todo el proceso de transición energética. Los aportes recogidos resaltaron la necesidad de adaptar el portafolio de alternativas energéticas a las realidades territoriales y socioeconómicas, fortalecer la articulación interinstitucional para una implementación efectiva, y considerar las necesidades y prioridades regionales como ejes fundamentales para avanzar hacia una transición sostenible.

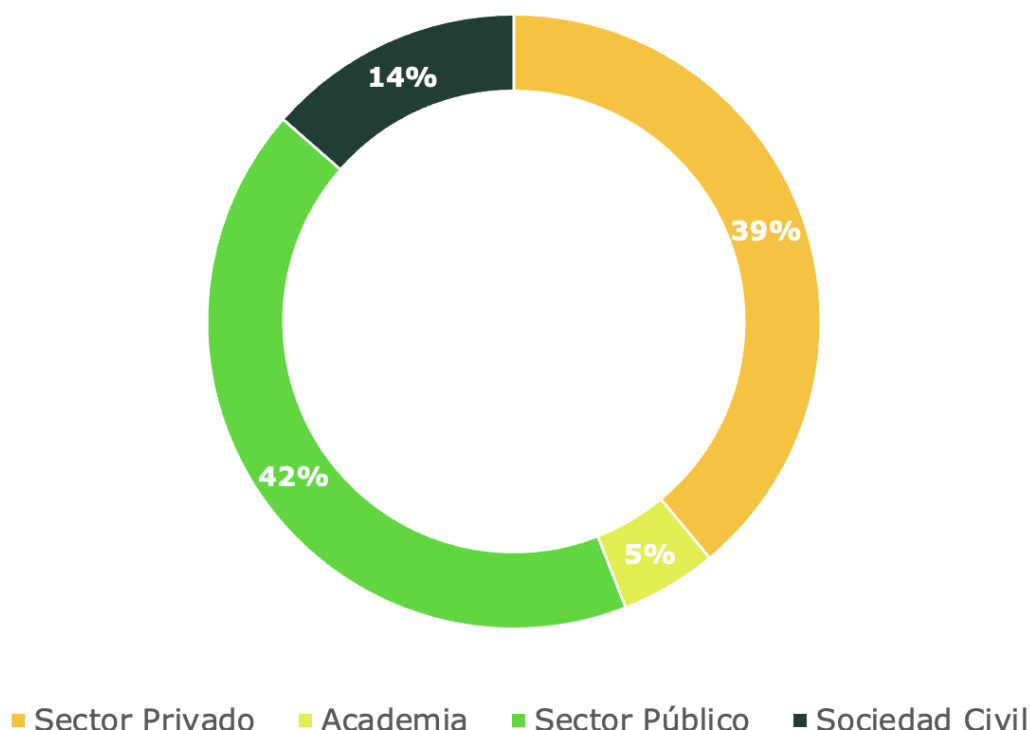
Asimismo, se destacó la urgencia de fortalecer los procesos de educación y formación en transición energética, crear espacios de coordinación territorial, apoyar la economía local desde una perspectiva diferencial frente a la lógica de reindustrialización, y mantener una presencia activa del Estado que garantice un diálogo permanente en los territorios. Estos insumos permitieron enriquecer y alinear los objetivos del PEN con las dinámicas y desafíos del país.

Etapas 3. Análisis de entorno

En esta tercera etapa se llevó a cabo el Taller de Análisis de Entorno, cuyo objetivo principal fue identificar los factores externos al sector energético que pueden influir en la transición energética. El taller se desarrolló de forma virtual y participativa, mediante una metodología que abordó cinco dimensiones clave: ambiental, social, política, tecnológica y económica.

Para su implementación, se conformaron cinco mesas de trabajo, una por cada dimensión, integradas por participantes de distintos sectores. Esta actividad permitió recoger e integrar las perspectivas de actores que desempeñan un rol clave en la identificación y formulación de estrategias alineadas con los objetivos del PEN. En esta actividad se contó con la participación de 59 actores provenientes de 34 instituciones (**Gráfico 8-6**), quienes contribuyeron a identificar la vigencia y pertinencia de los factores incluidos en el PEN anterior (2022-2052) y a formular nuevos factores relevantes.

Gráfico 8-6. Participación de los diferentes sectores en el desarrollo del análisis de entorno del PEN 2025 - 2055.



Fuente:Elaboración propia

Como resultado de este ejercicio de construcción colectiva, se reafirmó que la elaboración del PEN requiere una comprensión integral de los diversos factores externos que inciden en la transición energética del país. Estos insumos permitieron enriquecer y precisar los factores externos que pueden afectar el cumplimiento de las metas y objetivos en materia de transición energética, incorporando una visión coherente con las dinámicas y realidades sociales, económicas, ambientales, tecnológicas y políticas del país.

Etapas 4. Conceptualización de escenarios

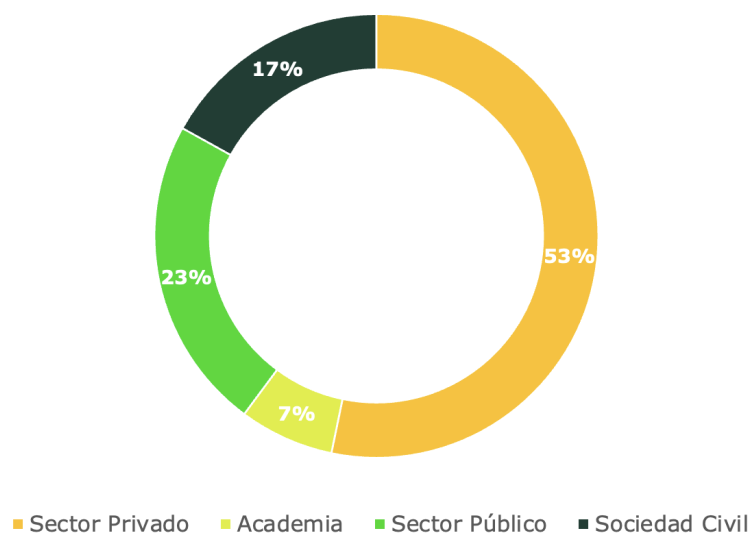
En esta etapa se llevó a cabo una actividad participativa cuyo propósito fue validar la propuesta conceptual de los escenarios energéticos formulados para el PEN 2025- 2055, promoviendo el diálogo y la participación activa de todos los actores involucrados, con el fin de construir una planeación energética que responda a las necesidades del país.

Esta validación se realizó en dos espacios; el primero fue un encuentro de diálogo y co-construcción con las subdirecciones y grupos de trabajo de la UPME en el cual participaron 32 personas de las diferentes subdirecciones.

En este espacio se presentó la propuesta de escenarios de los tres escenarios: Políticas Declaradas, Políticas Anunciadas y Carbono Neutralidad 2050. Además, se abordaron los escenarios y los factores que los moldean en cuatro momentos: (1) factores externos, (2) Carbono Neutralidad e Impuesto al Carbono, (3) tecnologías para la transición: electromovilidad, hidrógeno de bajas emisiones, CCUS, capacidad de transmisión, uso eficiente de la energía y sustitución de combustibles, y (4) reservas de combustibles fósiles. Al final de cada uno de estos momentos se discutieron y consolidaron los principales aportes.

El segundo espacio contó con la participación de 101 actores representantes de los sectores académico, privado, público y de organizaciones de la sociedad civil (**Gráfico 8-7**), quienes fueron distribuidos en tres mesas temáticas. En cada una de ellas se abordaron los escenarios energéticos y los factores que los modelan. Este taller de escenarios permitió construir una visión compartida sobre los caminos posibles para la transición energética en Colombia, identificando tanto oportunidades como tensiones que podrían marcar el rumbo del sector hacia 2050.

Gráfico 8-7. Participación de los diferentes sectores en la conceptualización de escenarios del PEN 2025 - 2055



Fuente:Elaboración propia

Las discusiones entre las mesas evidenciaron una clara conciencia de que alcanzar la carbono neutralidad exigirá mucho más que decisiones técnicas: implica transformar el modelo de desarrollo, revisar los incentivos actuales, anticipar cambios estructurales en la economía global y atender los impactos sociales derivados del proceso.

A lo largo del desarrollo de los espacios, se destacó la necesidad urgente de articular de mejor manera los desarrollos tecnológicos, la expansión de la infraestructura energética y la evolución de la matriz de producción con las dinámicas territoriales y climáticas. La

electromovilidad, la eficiencia energética, el rol de los combustibles fósiles y la resiliencia de las redes fueron temas transversales en varias mesas, lo que refleja que la transición no se limita a un cambio de fuentes energéticas, sino que representa una transformación profunda del sistema. Las contribuciones también señalaron factores que requieren un análisis más detallado, como los efectos del cambio climático sobre la oferta energética o los costos sociales de la transición, los cuales deberán incorporarse con mayor fuerza en el diseño de escenarios futuros.

Etapas 5. Resultados y socialización del PEN

En esta etapa final, se busca que cualquier persona interesada pueda acceder a la propuesta del PEN 2025- 2055, revisar y compartir sus observaciones. Esta fase es fundamental dentro del proceso de democratización de la planeación minero-energética, ya que promueve una construcción colectiva del futuro energético del país.

La participación ciudadana en esta etapa permite que diversas visiones, conocimientos, preocupaciones y propuestas sean conocidas y tenidas en cuenta por la UPME. Esto no solo fortalece la legitimidad del PEN, sino que también garantiza que las decisiones de planeación estén alineadas con las realidades y necesidades de los distintos territorios y sectores, y responda de manera más efectiva a los desafíos de la transición energética justa.

El enfoque territorial participativo ha demostrado ser una herramienta clave para fortalecer la gobernanza del sector minero-energético. La inclusión de voces diversas, la transparencia del proceso y la voluntad de co-construir han contribuido a la elaboración de un plan legítimo, pertinente y alineado con las necesidades del país y las comunidades.

Esta experiencia marca un precedente para otros procesos de planeación sectorial. El PEN 2025–2055 se configura así como un ejercicio de democracia energética y un pacto multiactor que, más allá de definir metas, construye confianza, institucionalidad y futuro.

8. ANÁLISIS DE ENTORNO DEL PEN 2025- 2055

La planeación energética requiere comprender integralmente el entorno en el que se desarrollan las decisiones técnicas y políticas, especialmente en un contexto de transición energética global que transforma aceleradamente las dinámicas de mercado, los marcos regulatorios y el desarrollo tecnológico. En este sentido, identificar y analizar los factores externos que pueden incidir sobre el sistema energético colombiano resulta esencial para anticipar riesgos, aprovechar oportunidades y formular políticas públicas adaptadas a una realidad cambiante en los ámbitos global, nacional y territorial.

El análisis de entorno permite estructurar estos factores externos para su incorporación en la construcción de escenarios energéticos, ofreciendo una base sólida sobre la cual se pueden explorar posibles trayectorias del sistema energético nacional. Estos factores, al estar fuera del control directo de los actores del sector energético colombiano, constituyen incertidumbres críticas que pueden habilitar o actuar como barreras para la transición energética del país.

Para el PEN 2025–2055, este análisis se realizó mediante un proceso participativo y multiactor, utilizando la metodología PESTEL, que agrupa los factores en seis dimensiones: política, legal, económica, social, tecnológica, y ambiental. El ejercicio de análisis de entorno permitió identificar y evaluar aquellos con mayor nivel de incertidumbre e impacto sobre el sistema energético.

El ejercicio identifica múltiples factores por cada dimensión del análisis, y a partir de su revisión y síntesis plantean cinco factores estructurantes externos que agrupan y concentran las incertidumbres más influyentes sobre los escenarios energéticos de largo plazo: el crecimiento económico, los precios internacionales de los combustibles fósiles, el costo de tecnologías y energéticos para la transición, la aceptación social de los proyectos energéticos, y el cambio climático.

8.1. Factores estructurantes externos priorizados

Crecimiento económico: La evolución de la economía colombiana y global condicionan el ritmo al que se pueden implementar tecnologías bajas en emisiones, expandir la infraestructura energética y garantizar acceso equitativo a la energía. Además, habilita la reducción de la pobreza energética. En contraste, un estancamiento o crisis podría limitar la ambición climática y reforzar la dependencia de fuentes fósiles.

Precio de los combustibles fósiles: Los precios internacionales del carbón, el petróleo y el gas natural influyen en múltiples decisiones: desde la generación eléctrica hasta la movilidad y los procesos industriales de calor. Una caída en estos precios puede desincentivar la transición energética, mientras que un aumento sostenido puede generar presiones inflacionarias, afectar la economía y acelerar la búsqueda de alternativas más sostenibles.

Costo de tecnologías y energéticos para la transición: La disminución sostenida en los costos de tecnologías como la solar, la eólica, el almacenamiento, electrolizadores, entre otros, es clave para la transformación del sistema energético. Estos costos dependen de innovaciones globales, economías de escala, cadenas de suministro y políticas industriales, que influyen en el costo de las tecnologías y los insumos para su producción (p.e. minerales estratégicos). Su evolución influirá directamente en la competitividad de la energía renovable frente a los fósiles.

Cambio climático: Actúa como un factor estructurante transversal puesto que modifica los patrones de disponibilidad energética (por ejemplo, hidroelectricidad), altera la demanda (por eventos extremos), pone en riesgo la infraestructura (por desastres) y exige planes de adaptación. Su evolución influirá no solo en la urgencia de la transición, sino también en la manera en que debe diseñarse el sistema energético para ser resiliente y sostenible.

Aceptación social: Los procesos de transición no son únicamente tecnológicos ni económicos, son procesos que requieren legitimidad social. La falta de participación, transparencia o distribución justa de beneficios puede llevar al rechazo de proyectos estratégicos, a conflictos territoriales y a bloqueos institucionales. **Si bien este es un factor que se ha tomado históricamente como externo, se puede influir desde el sector energético a través de procesos transparentes e incluyentes de planeación y formulación de proyectos.**

8.2. Factores estructurantes externos

A continuación, se presenta el análisis detallado de cada dimensión del entorno (PESTEL) (**Gráfico 9-1**), incluyendo los principales hallazgos del proceso participativo, las interacciones entre factores y su vinculación con los factores estructurantes identificados.

Gráfico 9-1. Factores PESTEL²



² Los factores sociales, históricamente han sido considerados externos al sector minero-energético —como salud pública, percepción ambiental, conflictos territoriales y de seguridad— sin embargo, se puede influir desde el sector energético a través de procesos transparentes e incluyentes de

Fuente: Elaboración propia, 2025

Factores políticos y legales externos

La dimensión política representa un componente clave para la viabilidad y sostenibilidad de la transición energética. Los factores políticos externos identificados reflejan riesgos sistémicos asociados tanto a la gobernanza interna como a las dinámicas internacionales, los cuales pueden condicionar el ritmo y la profundidad de los cambios requeridos para avanzar en las metas del PEN 2025–2055.

Nivel de consenso y cooperación en la lucha climática a escala nacional e internacional

La lucha contra el cambio climático impulsa la transformación hacia una economía baja en carbono. Colombia se ha comprometido a reducir las emisiones en un 51% para 2030 y alcanzar la carbono neutralidad para 2050. Esto requiere cooperación internacional, nacional y subnacional para lograr una transición energética en línea con las metas de reducción de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, la limitada coordinación entre actores del nivel internacional, nacional, regional y local, y entre sectores institucionales y privados, representa un desafío para la planeación e implementación de las acciones energéticas y climáticas necesarias. Además, el acceso limitado a la información puede incrementar el riesgo de conflictos socioambientales que generan retrasos y comprometen la confianza ciudadana.

En el ámbito internacional, la cooperación multilateral es un factor clave para facilitar el acceso a tecnologías bajas en emisiones, financiamiento climático y buenas prácticas de gobernanza energética. Sin embargo, es importante resaltar que es clave poder avanzar en la alineación entre compromisos nacionales y los marcos globales, como el Acuerdo de París, y en la capacidad de articular dichos compromisos con las necesidades territoriales.

Balance entre necesidades coyunturales y compromisos de largo plazo

La formulación y ejecución de políticas climáticas y energéticas, en ciertas ocasiones se ve afectada por la necesidad de responder a crisis coyunturales - como crisis económicas, pandemias o conflictos geopolíticos- que pueden modificar las prioridades y esfuerzos de la descarbonización a largo plazo.

Las experiencias recientes como la pandemia del COVID-19 y el conflicto entre Rusia y Ucrania han demostrado cómo los factores externos, cambios macroeconómicos y presiones fiscales inmediatas reconfiguran las prioridades de política pública, generando retrocesos temporales en los objetivos de descarbonización a largo plazo. En estos contextos, las decisiones tienden a priorizar la estabilidad macroeconómica y la seguridad energética inmediata, y reducirla disponibilidad de recursos para inversión en estrategias y tecnologías bajas en emisiones.

Continuidad de las políticas públicas: “Construir sobre lo construido”

planeación y formulación de proyectos, por lo tanto se deben abordar de forma integral, ya que influyen directamente en la legitimidad y sostenibilidad de los proyectos.

La consolidación de una transición energética sostenible exige políticas públicas con una visión de largo plazo, que trascienden los ciclos políticos y se basen en acuerdos institucionales estables. La falta de continuidad en planes y estrategias energéticas genera incertidumbre en los inversionistas, discontinuidad en la ejecución de proyectos, y pérdida de eficiencia en el uso de recursos públicos. Una gobernanza energética basada únicamente en decisiones de corto plazo y agendas de gobierno pone en riesgo la sostenibilidad estructural del sistema energético.

Tensiones diplomáticas y cambios en relaciones comerciales

El entorno geopolítico global tiene un impacto directo sobre las posibilidades de implementar una transición energética efectiva. Las tensiones diplomáticas, cambios en tratados comerciales o bloqueos en el acceso a mercados estratégicos pueden limitar la importación de tecnologías clave, restringir el comercio de bienes energéticos o dificultar la cooperación técnica internacional.

Para una economía en desarrollo como la colombiana, que depende en gran medida de la importación de tecnologías energéticas, este tipo de interrupciones puede ralentizar o encarecer la implementación de proyectos que aporten a la transición energética.

Análisis de interacción

Del conjunto de factores políticos analizados, dos elementos destacan por su potencial impacto estructural sobre el Plan Energético Nacional (PEN):

- El balance entre las necesidades de corto plazo y los compromisos de largo plazo, que exige diseñar instrumentos de política que respondan a coyunturas sin comprometer los objetivos estructurales de descarbonización y equidad territorial.
- Las tensiones diplomáticas y comerciales internacionales, que pueden incidir directamente en el acceso a tecnologías, recursos e inversiones clave para la transformación del sistema energético.

El análisis de interacciones entre factores políticos y estructurantes permitió visibilizar la forma en que las decisiones y condiciones institucionales, tanto nacionales como internacionales, afectan el desarrollo de los tres escenarios estratégicos del PEN 2025-2055. La matriz de interacción que se presenta a continuación resume las relaciones identificadas entre estos factores:

Tabla 9-1. Interacción de los factores políticos con los factores estructurantes

	Crecimiento Económico	Precio de Combustibles Fósiles	Costo de las FNCER	Aceptación Social	Cambio Climático
Nivel de consenso y cooperación					x
Balance entre necesidades de corto y largo plazo	x		x		x
Construir sobre lo construido	x			x	x
Tensiones diplomáticas y cambios en las relaciones comerciales	x	x	x		

Fuente: Elaboración propia, 2024

El análisis de los factores políticos externos evidencia que los objetivos para avanzar hacia una transición energética justa dependen en gran medida de la estabilidad institucional, la articulación efectiva entre niveles de gobierno y la continuidad de las políticas públicas más allá de los ciclos de gobierno. La capacidad de “construir sobre lo construido” permite consolidar avances, reducir la incertidumbre para la inversión y fortalecer la aceptación social de los proyectos energéticos, especialmente en contextos territoriales con alta conflictividad o baja capacidad institucional.

En este sentido, una gestión adecuada de la articulación interinstitucional e intersectorial, tanto a nivel nacional como regional, es clave para garantizar procesos de socialización efectivos en torno a los proyectos minero-energéticos. Esto no solo facilita que las comunidades conozcan de forma clara y oportuna los beneficios asociados, sino que también permite a los promotores de los proyectos comprender y atender de manera directa las necesidades, preocupaciones y desafíos planteados desde los territorios. Este enfoque bidireccional fortalece la confianza, promueve el diálogo informado y contribuye a una implementación más justa, legítima y sostenible.

Así mismo, las condiciones del entorno geopolítico representan un componente estructural para el desarrollo del sistema energético. Las tensiones diplomáticas o comerciales afectan el acceso a tecnologías clave, la estabilidad de los precios energéticos y las oportunidades de financiamiento para energías bajas en carbono. Esto refuerza la necesidad de incorporar el análisis geopolítico en la planeación energética como herramienta para anticipar riesgos y fortalecer la seguridad tecnológica y económica del país.

Finalmente, la tensión entre las demandas coyunturales y los compromisos de largo plazo plantean un desafío permanente para la gobernanza del sector. Diseñar políticas resilientes que respondan a las crisis sin desviar el rumbo estructural de la transición requieren una

planeación flexible, mecanismos de coordinación robustos y un enfoque que combine la estabilidad institucional con la capacidad de adaptación frente a contextos cambiantes.

Factores económicos externos

La dimensión económica del entorno externo incluye factores estructurales y coyunturales que pueden facilitar o limitar el desarrollo de la transición energética. En el caso colombiano, estos factores están influenciados por la dependencia histórica del sector extractivo, la vulnerabilidad a riesgos macroeconómicos globales y la necesidad de atraer inversión para tecnologías emergentes que aún no logran madurez comercial.

Financiamiento de tecnologías emergentes

A pesar del creciente interés en la descarbonización, el financiamiento del sector energético sigue concentrado en tecnologías maduras como la solar fotovoltaica y la eólica. Esta tendencia limita la entrada al mercado de otras soluciones necesarias para diversificar la matriz energética, como la geotermia, la bioenergía moderna, el almacenamiento a gran escala, el hidrógeno verde, y las tecnologías complementarias para la transmisión y la estabilidad de redes, como los compensadores síncronos.

La baja disponibilidad de capital para estas tecnologías emergentes frena la innovación, reduce el margen de acción del país frente a escenarios de variabilidad energética, y debilita su capacidad de adaptación ante cambios tecnológicos globales.

Aunque Colombia ha avanzado en la adopción de incentivos tributarios para proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), Gestión Eficiente de la Energía (GEE) e hidrógeno, su efectividad depende en gran medida de la confianza de los inversionistas, la claridad regulatoria y la estabilidad fiscal del país.

Dependencia económica de combustibles fósiles

Colombia enfrenta un dilema estructural: El sector energético nacional es altamente dependiente de los combustibles fósiles, esto implica un conjunto de acciones necesarias de descarbonización a 2050. Sin embargo, para el año 2023 los combustibles fósiles (carbón y petróleo) representan el 50% del total de exportaciones del país³, mientras que la participación del sector minero energético en el PIB colombiano fue del 6% (DANE, 2025).

Los compromisos climáticos a nivel global han incentivado la adopción de políticas para la reducción de emisiones a través de acuerdos, adopción de tecnologías renovables, medidas de regulación (p.e. el Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono (CBAM) de la Unión Europea), y una tendencia a la reducción en el uso de combustibles fósiles. Agencias Internacionales como la IEA proyectan que en 2030, la demanda mundial de combustibles fósiles sería un 25% inferior a la actual, y que para 2050, sería sólo el 20% de los niveles actuales (IEA, 2023).

³ Los combustibles fósiles representan el 88% de las exportaciones tradicionales (café, carbón, petróleo y sus derivados, ferroníquel)

La falta de una estrategia de diversificación económica que anticipe este escenario representa un riesgo estructural para la sostenibilidad fiscal, el balance comercial y la transición energética misma. Internamente, los incentivos a mantener sectores fósiles activos podrían retrasar la transformación de la matriz energética y limitar la inversión en tecnologías limpias. Por lo anterior, es primordial que el país fortalezca sus capacidades para responder a los impactos de la transición energética, desde la perspectiva energética y económica.

Costos globales de tecnologías limpias

La implementación de proyectos de energía renovable en Colombia depende en gran parte de la importación de tecnologías clave como paneles solares, turbinas eólicas, baterías de almacenamiento, vehículos eléctricos y cargadores, equipos para la industria, entre otros. Esta dependencia expone al país a vulnerabilidades como la fluctuación de la tasa de cambio, los aumentos en los precios internacionales de insumos o las interrupciones en las cadenas de suministro globales.

Sin estrategias efectivas para mitigar estos impactos, los costos de inversión pueden incrementarse, reduciendo la viabilidad económica de los proyectos, encareciendo el acceso a la energía limpia y afectando el cumplimiento de las metas de descarbonización del sector.

Dependencia de inversión internacional

La transición energética en países en desarrollo, como Colombia, requiere de una participación de inversión internacional. Sin embargo, los riesgos asociados a factores fiscales, socioeconómicos, climáticos y de conflictividad social pueden elevar el costo del capital y disminuir la competitividad del país frente a otros destinos de inversión.

Esta situación limita el acceso a financiamiento en condiciones favorables y puede frenar la ejecución de proyectos de gran escala. La necesidad de fortalecer los marcos de confianza, transparencia y estabilidad regulatoria se vuelve esencial para atraer los flujos de capital requeridos para la transformación energética.

Análisis de interacción

Del conjunto de factores económicos analizados, dos elementos destacan por su potencial impacto estructural sobre el Plan Energético Nacional (PEN):

- La dependencia económica de los combustibles fósiles, limita la capacidad del país para diversificar su base productiva y lo expone a riesgos derivados de la transición energética global y de la volatilidad en los precios internacionales de hidrocarburos.
- Los costos globales de las tecnologías renovables y limpias, que afectan directamente la viabilidad financiera de los proyectos locales y pueden retrasar la implementación de soluciones bajas en emisiones si no se diseñan mecanismos de mitigación de riesgos cambiarios y de suministro.

Ambos factores son críticos de la dimensión económica y representan un eje para la viabilidad de los escenarios energéticos proyectados a 2054. Las decisiones sobre inversión, financiamiento, costos y dependencia de fuentes tradicionales están

profundamente vinculadas a los cinco factores estructurantes que definen la trayectoria de la transición energética justa en Colombia.

Tabla 9-2. Interacción de los factores económicos con los factores estructurantes

	Crecimiento Económico	Precio de Combustibles Fósiles	Costo de las FNCER	Aceptación Social	Cambio Climático
Financiamiento de tecnologías emergentes	x		x		x
Dependencia económica en combustibles fósiles	x	x		x	x
Costos globales de tecnologías limpias			x	x	
Dependencia de inversión internacional para la transición energética	x		x		x

Fuente: Elaboración propia, 2024

El análisis de los factores económicos revela su papel estructurante en la configuración y viabilidad de los escenarios del PEN 2025–2055. La dependencia de los combustibles fósiles no solo condiciona el crecimiento económico, sino que también limita la adopción de tecnologías limpias, impactando directamente cuatro de los cinco estructurantes de la transición energética. Superar esta dependencia exige diversificar la economía, reducir vulnerabilidades externas y generar nuevas fuentes de ingreso que consoliden un modelo energético más resiliente y sostenible.

La evolución de los costos globales de las tecnologías renovables, especialmente en un contexto de alta dependencia tecnológica y exposición a la volatilidad cambiaria, influye en la asequibilidad de las FNCER y en su aceptación social. Esta relación subraya la necesidad de fortalecer capacidades internas de producción, innovación y adaptación tecnológica.

Por otro lado, el financiamiento para tecnologías emergentes y la inversión internacional juegan un rol crucial, pero también exponen al país a riesgos estructurales si no se desarrollan mecanismos internos de apalancamiento y regulación. La ausencia de estos instrumentos puede profundizar desigualdades territoriales y comprometer la soberanía tecnológica.

Incorporar estas dinámicas en la planeación energética requiere una aproximación que integre variables macroeconómicas, comercio energético y sensibilidad ante la volatilidad de precios. Asimismo, se recomienda fortalecer la articulación del PEN con instrumentos de política económica verde, que fomenten la innovación, la inversión local y la transición justa desde una perspectiva fiscal, comercial y territorial.

Factores sociales externos

La transición energética en Colombia está profundamente influenciada por las dinámicas sociales en los territorios, la percepción ciudadana sobre los impactos del sector minero-energético y la capacidad institucional para generar consensos. En este contexto, los factores sociales externos adquieren una dimensión crítica, ya que condicionan la legitimidad de los proyectos y su sostenibilidad a largo plazo. Tal es el caso de factores como la *salud pública y la percepción del impacto ambiental*, así como de los *conflictos sociales, territoriales y de seguridad* no relacionados con el sector energético. Asimismo, los factores de *gobernanza, acceso a la información y construcción de consensos*, así como de *relacionamiento con comunidades y legitimidad de los proyectos*, históricamente entendidos como exógenos al sector minero-energético, deben analizarse de forma integral, pues desde el sector pueden plantearse estrategias para endogeneizarlos y anticiparse a la consolidación de un entorno social favorable para la transición.

Salud pública y percepción del impacto ambiental

Existen crecientes preocupaciones en las comunidades sobre los posibles impactos de los proyectos energéticos en la salud humana y el medio ambiente. Estas inquietudes, cuando no son abordadas con transparencia y evidencia técnica accesible, pueden derivar en desinformación, oposición local o protestas.

La ausencia de estudios públicos que evalúen los impactos acumulativos de la infraestructura energética sobre la salud pública y los ecosistemas profundiza la brecha entre las expectativas de las comunidades y los objetivos del sector. Esto no solo afecta la ejecución de proyectos, sino que debilita el soporte social para la transición energética.

Gobernanza, acceso a la información y construcción de consensos

La debilidad institucional, la ausencia de mecanismos robustos de participación ciudadana y la falta de articulación con los planes de desarrollo local pueden generar barreras para el avance de la transición energética. La baja disponibilidad de información clara y oportuna, así como la falta de espacios efectivos de diálogo, incrementa el riesgo de conflictividad, genera desconfianza en las comunidades y propicia la judicialización o paralización de proyectos.

En territorios con alta sensibilidad socio ambiental, la construcción de consensos desde etapas tempranas de planeación y formulación de proyectos, resulta indispensable no solo para avanzar en la ejecución de obras, sino también para asegurar que los beneficios de la transición se distribuyan de manera equitativa y adaptada a las realidades locales.

Relacionamiento con comunidades y legitimidad de los proyectos

La percepción social sobre el comportamiento del sector energético es un factor determinante para la viabilidad de sus proyectos. En muchos casos, las comunidades consideran que las empresas no adoptan buenas prácticas en su relacionamiento, lo que genera resistencia y bloqueos incluso frente a tecnologías bajas en emisiones.

La falta de una estrategia y articulación tanto institucional como empresarial que visibilice casos de éxito en sostenibilidad, desarrollo local y beneficio compartido reduce

la legitimidad del sector. Sin una narrativa coherente y respaldada por acciones concretas en los territorios, es difícil construir confianza y garantizar una transición energética justa e inclusiva.

Conflictos sociales, territoriales e inseguridad

La inseguridad en zonas rurales y las tensiones sociales heredadas de procesos históricos como el conflicto armado, así como los compromisos derivados del Acuerdo de Paz, representan factores externos con fuerte impacto en la planeación energética. La violencia, los conflictos por el uso del suelo y la presencia de economías ilegales pueden impedir la ejecución de proyectos, aumentar los costos operativos o incluso provocar la salida de inversionistas de regiones con alto potencial energético.

Una transición energética justa debe considerar estos factores estructurales, reconociendo que la presencia institucional y la construcción de paz territorial son condiciones necesarias para su implementación efectiva.

Análisis de interacción

Del conjunto de factores sociales analizados, dos elementos destacan por su potencial impacto estructural sobre el Plan Energético Nacional (PEN):

- El relacionamiento con las comunidades y la legitimidad de los proyectos, que constituyen condiciones esenciales para prevenir conflictos territoriales, garantizar la sostenibilidad social de las iniciativas energéticas y facilitar su implementación en armonía con las dinámicas locales.
- Los conflictos sociales, territoriales y la inseguridad, que pueden obstaculizar la ejecución de proyectos, incrementar los costos operativos y generar incertidumbre sobre la viabilidad de inversiones en zonas estratégicas para la transición energética.

Los factores sociales constituyen una dimensión fundamental para el éxito de la transición energética en Colombia. Aspectos como la gobernanza participativa, la aceptación social, la confianza institucional y la gestión de conflictos territoriales determinan en gran medida la viabilidad técnica, social y ambiental de los escenarios del PEN.

Tabla 9-3. Interacción de los factores sociales con los factores estructurantes

	Crecimiento Económico	Precio de Combustibles Fósiles	Costo de las FNCER	Aceptación Social	Cambio Climático
Salud pública y percepción del impacto ambiental				x	x
Gobernanza, acceso a la información y construcción de consensos				x	

	Crecimiento Económico	Precio de Combustibles Fósiles	Costo de las FNCER	Aceptación Social	Cambio Climático
<u>Relacionamiento con comunidades y legitimidad de los proyectos</u>				x	x
<u>Conflictos Sociales, Territoriales e Inseguridad</u>				x	x

Fuente: Elaboración propia, 2024

La legitimidad de la transición energética depende en gran medida de la forma en que las comunidades son informadas, involucradas y representadas en los procesos de planeación y ejecución. En contextos marcados por conflictividades previas, presencia de comunidades étnicas o condiciones de vulnerabilidad estructural, la debilidad en el acceso a la información clara y en los espacios de diálogo efectivo genera desconfianza, escalamiento de conflictos y bloqueos a proyectos estratégicos. Esta situación se agrava en territorios con antecedentes de conflicto armado, presencia de poblaciones étnicas o condiciones de vulnerabilidad histórica.

Estas dinámicas sociales no solo afectan la implementación territorial de las apuestas de la transición, sino que también inciden directamente en la percepción de justicia del proceso de transición. Sin una adecuada gestión del relacionamiento comunitario, se corre el riesgo de profundizar las brechas existentes y debilitar la legitimidad de la transición. Incorporar enfoques territoriales diferenciados, mecanismos de participación incluyente y sistemas de alerta temprana sobre posibles conflictos es esencial para garantizar una planeación energética adaptativa, equitativa y sostenible.

Factores tecnológicos externos

El componente tecnológico es uno de los pilares de la transición energética. Sin embargo, su avance está condicionado por múltiples factores externos, como la disponibilidad de infraestructura, el acceso a equipos, la madurez de tecnologías emergentes y la dependencia de mercados internacionales. En el caso colombiano, estos elementos representan tanto oportunidades como desafíos que deben ser anticipados en la planeación energética de largo plazo.

Desafíos en la implementación del hidrógeno y tecnologías de captura de carbono (CCUS)

A nivel global, las tecnologías relacionadas con Hidrógeno y Captura, Uso y Almacenamiento de Carbono (CCUS) aún enfrentan barreras significativas en términos de madurez tecnológica, altos costos de inversión, falta de estándares internacionales y una demanda incierta. Colombia, aunque ha identificado el hidrógeno como parte de su estrategia de descarbonización, depende en gran medida de la evolución del mercado internacional, el acceso a tecnologías y la cooperación técnica y financiera con otros países para su despliegue. La implementación de CCUS, por su parte, requiere en

primera medida que a nivel global se logren avances efectivos, realistas y escalables en su desarrollo tecnológico. A nivel nacional, se requerirán avances normativos, identificación y delimitación de potencial real, desarrollo de infraestructura y garantías de seguridad a largo plazo.

Estos desafíos limitan el ritmo de adopción de soluciones clave para reducir emisiones en sectores difíciles de electrificar, lo que podría comprometer el cumplimiento de las metas climáticas del país si no se generan condiciones habilitantes adecuadas.

Dependencia externa de tecnología y barreras económicas

En Colombia, la mayoría de las tecnologías requeridas para descarbonizar el sistema energético — como paneles solares, turbinas eólicas, vehículos eléctricos, baterías de almacenamiento, electrolizadores y equipos para captura de carbono — dependen mayoritariamente de la importación de equipos y tecnologías. Esta dependencia se traduce en vulnerabilidades frente a la volatilidad de los mercados globales, los costos logísticos, la tasa de cambio, las barreras arancelarias, tensiones comerciales y cuellos de botella en las cadenas globales de suministro.

Esta dependencia no solo incrementa el costo de los proyectos, sino que también introduce incertidumbre sobre la continuidad y el escalamiento de las soluciones energéticas bajas en emisiones. Además, las barreras económicas como el acceso limitado a financiamiento en condiciones competitivas, los altos costos iniciales de inversión y la limitada capacidad de manufactura local restringen el desarrollo de un ecosistema tecnológico nacional. Superar estas barreras implica diseñar políticas industriales activas y articuladas con la planeación energética, para fomentar la producción local, facilitar la transferencia tecnológica y mejorar el entorno económico para atraer inversión verde sostenible.

Disponibilidad de minerales y materias primas críticas

Las tecnologías como baterías, paneles solares, turbinas eólicas y la infraestructura para redes inteligentes y sistemas de electrificación dependen de minerales como cobre, zinc, cobalto, litio y tierras raras. Sin una estrategia clara a nivel global para su extracción, procesamiento, producción y reciclaje sostenible, estos recursos pueden convertirse en una barrera en lugar de un habilitador. La ausencia de innovación en procesos de recuperación y reutilización, así como una regulación ambiental y social insuficiente, puede no solo aumentar los costos de las tecnologías limpias, sino también generar conflictos socioambientales que comprometan la legitimidad del sector.

Además, si no se abordan simultáneamente las necesidades inmediatas del mercado y las transformaciones estructurales del modelo minero, la disponibilidad de estos materiales puede restringir la adopción masiva de soluciones renovables, limitar la electrificación de sectores clave y frenar la diversificación energética del país.

Análisis de interacción

Del conjunto de factores tecnológicos analizados, dos elementos destacan por su potencial impacto estructural sobre el Plan Energético Nacional (PEN):

- La incipiente implementación de tecnologías como la geotermia, bioenergía, el hidrógeno y la captura y almacenamiento de carbono (CCUS), que aún enfrentan desafíos relacionados con costos, infraestructura, regulación y validación técnica. Estas tecnologías podrían jugar un papel clave en la descarbonización profunda de sectores difíciles de electrificar, pero requieren una hoja de ruta clara, pilotos demostrativos y condiciones habilitantes.
- Estos factores son estratégicos para garantizar una transición energética técnicamente viable y deben abordarse mediante una política de innovación alineada con el desarrollo industrial, la sostenibilidad de la minería y la cooperación tecnológica internacional.

Los factores tecnológicos juegan un papel estratégico en la viabilidad y aspiración de los escenarios del PEN. Su evolución, disponibilidad y apropiación inciden directamente en la capacidad del país para implementar soluciones de descarbonización eficaces, seguras y sostenibles.

Tabla 9-4. Interacción de los factores tecnológicos con los factores estructurantes

	Crecimiento Económico	Precio de Combustibles Fósiles	Costo de las FNCER	Aceptación Social	Cambio Climático
Desafíos en la implementación del hidrógeno y tecnologías de captura de carbono	x		x	x	x
Dependencia externa de tecnología y barreras económicas para la transición			x		x
Disponibilidad de minerales y materias primas necesarias para la transición			x	x	

Fuente: Elaboración propia, 2024

Los riesgos tecnológicos en el contexto de la transición energética son múltiples y crecientes. La alta dependencia de tecnologías importadas para el desarrollo de energías renovables, almacenamiento, hidrógeno verde o captura de carbono, expone al país a fluctuaciones del mercado global, restricciones comerciales y tensiones geopolíticas. Esto puede encarecer los costos de implementación, dificultar el acceso a componentes críticos y retrasar la ejecución de proyectos clave. Además, la falta de capacidades nacionales para la producción, operación y mantenimiento de estas tecnologías limita la posibilidad de adaptación a las condiciones locales y perpetúa una brecha tecnológica que compromete la soberanía energética.

Para mitigar estos riesgos, es fundamental integrar en la planeación energética una estrategia tecnológica coherente y anticipatoria. Esto implica definir trayectorias diferenciadas por región y sector, que consideren las capacidades locales, los riesgos sociales y ambientales, y las necesidades de adaptación tecnológica. Finalmente, la

promoción de capacidades nacionales, a través de alianzas público-privadas, programas de formación técnica, centros de innovación y fondos de investigación aplicada, debe ser una prioridad transversal.

Factores ambientales externos

El componente ambiental de la transición energética está fuertemente influenciado por factores externos como el cambio climático, la gobernanza territorial y los conflictos en el uso del suelo. Estos elementos no solo impactan la operación del sistema energético, sino que también inciden en la aceptación social, la sostenibilidad de los proyectos y la resiliencia del país ante eventos extremos.

Débil seguimiento y control en el sector minero-energético

Uno de los principales riesgos identificados es la falta de mecanismos eficaces para el monitoreo, la supervisión y el control ambiental y social en los proyectos energéticos. Esta debilidad institucional compromete el cumplimiento de compromisos adquiridos con las comunidades y con la normatividad ambiental vigente, lo que puede derivar en protestas, bloqueos o acciones legales contra los desarrollos del sector.

Es fundamental fortalecer y articular los mecanismos de seguimiento y control con las autoridades locales, las entidades del sector minero-energético y las empresas privadas, de manera que se garantice una vigilancia integral, oportuna y transparente durante todo el ciclo de vida de los proyectos. Puesto que, la escasa articulación entre autoridades nacionales y regionales dificulta la respuesta oportuna ante problemas críticos, como el deterioro de ecosistemas, el incumplimiento de medidas de mitigación o la atención de conflictos territoriales.

Cambio climático y fenómenos climáticos extremos

El cambio climático representa un desafío transversal que afecta la seguridad energética del país. Fenómenos como sequías prolongadas, olas de calor, lluvias extremas e inundaciones pueden alterar la oferta energética (especialmente en generación hidroeléctrica) y modificar los patrones de consumo.

Estas alteraciones ponen en riesgo la confiabilidad del sistema, exigen mayores inversiones en adaptación y resiliencia, y elevan la presión sobre la planeación energética de largo plazo. La integración de criterios de resiliencia climática se vuelve fundamental para garantizar la estabilidad del sistema en escenarios futuros de mayor incertidumbre climática.

Conflictos en el uso del suelo

El uso del suelo es un factor crítico en la expansión de la infraestructura energética, especialmente en zonas con vocación agrícola, ambiental o de conservación. La competencia entre usos productivos, la presencia de comunidades étnicas y campesinas, y los intereses sobre territorios con valores ecosistémicos estratégicos generan tensiones que pueden escalar en conflictividad social.

La falta de planeación territorial que articule los intereses energéticos con los de ordenamiento ambiental y social, genera incertidumbre jurídica, obstaculiza la obtención de licencias y permisos, y afecta el cronograma de implementación de proyectos. La planeación energética debe considerar estos conflictos potenciales desde una perspectiva preventiva, participativa y adaptativa.

Análisis de interacción

Del conjunto de factores ambientales analizados, dos elementos destacan por su potencial impacto estructural sobre el Plan Energético Nacional (PEN):

- Cambio climático y fenómenos climáticos extremos, que refuerzan la urgencia de acelerar la transición hacia energías limpias que contribuyan a reducir las emisiones, mitigar impactos ambientales y aumentar la resiliencia del sistema energético frente a eventos climáticos severos.
- Uso del suelo, dado que la disponibilidad y el acceso al territorio son determinantes para la implementación de proyectos energéticos. Este factor implica prevenir conflictos con usos alternativos del suelo como la agricultura, la conservación de ecosistemas, el respeto a comunidades locales, así como la protección de sitios arqueológicos y bienes de interés cultural

La dimensión ambiental representa un pilar esencial para el diseño de una planeación energética sostenible. Los factores ambientales analizados reflejan no sólo los límites ecosistémicos dentro de los cuales deben desarrollarse los escenarios energéticos, sino también la urgencia de responder con visión territorial y climática a los retos de largo plazo.

Tabla 9-5. Interacción de los factores ambientales con los factores estructurantes

	Crecimiento Económico	Precio de Combustibles Fósiles	Costo de las FNCER	Aceptación Social	Cambio Climático
Débil seguimiento y control en el sector minero-energético				x	x
Cambio climático y fenómenos climáticos extremos			x		x
Uso del Suelo			x	x	x

Fuente: Elaboración propia, 2024

La dimensión ambiental plantea desafíos estructurales que condicionan directamente la viabilidad y legitimidad de los escenarios energéticos del país. La debilidad institucional en el seguimiento y control de los proyectos, así como la fragmentación en la planeación del uso del suelo, socavan la confianza pública e impiden una gestión integral del territorio.

Esta desconexión entre lo ambiental y lo energético no solo amplifica los conflictos socioambientales, sino que también dificulta la implementación coordinada de proyectos en zonas con funciones ecosistémicas sensibles o usos culturales consolidados.

Además, los efectos del cambio climático y la variabilidad climática extrema introducen riesgos significativos para la infraestructura energética, tanto existente como proyectada. Fenómenos como sequías, inundaciones y deslizamientos afectan la disponibilidad de recursos, alteran patrones de demanda y encarecen las inversiones necesarias para garantizar la resiliencia del sistema. Ante este panorama, es imprescindible integrar información ambiental estratégica en los procesos de planeación energética, armonizar con instrumentos territoriales y climáticos, y fortalecer la gobernanza interinstitucional para anticiparse a los impactos y gestionar la transición de forma adaptativa, justa y ambientalmente responsable.

La matriz PESTEL muestra que los factores sociales, políticos y tecnológicos tienen una alta densidad de interacciones con los estructurantes, especialmente con la aceptación social y el cambio climático, lo que destaca la centralidad de la dimensión territorial, institucional y ciudadana en la construcción de escenarios energéticos viables y sostenibles. Así mismo, la dimensión económica se posiciona como un eje crítico que condiciona la capacidad de inversión, la estabilidad macroeconómica y la competitividad de las fuentes renovables.

En cuanto al componente ambiental, aunque su interacción numérica es menor en comparación con otros ejes, su relevancia cualitativa es transversal, ya que actúa como límite ecosistémico, marco normativo y condición para la resiliencia futura del sistema energético frente a la variabilidad climática.

Este análisis refuerza la importancia de que el PEN incorpore mecanismos de seguimiento dinámico y prospectivo de estos factores externos, que no solo afectan las condiciones del entorno, sino que también deben ser gestionados estratégicamente mediante enfoques preventivos, adaptativos y territoriales. En particular, se hace evidente que una planeación energética robusta debe integrar variables sociales, ambientales, climáticas y tecnológicas como ejes estructurales del diseño de políticas públicas, para garantizar una transición justa, sostenible e inclusiva.

9. FORMULACIÓN DE ESCENARIOS DEL PEN 2025- 2055 ¿CÓMO AVANZAMOS HACIA LA VISIÓN PROPUESTA?

9.1. Cambios en el modelamiento energético de largo plazo: virtudes y limitantes

En el marco del Plan Energético Nacional 2025–2055, la UPME ha iniciado una transformación en sus herramientas de modelamiento de largo plazo, avanzando desde la plataforma LEAP (Low Emissions Analysis Platform) hacia el sistema abierto de modelación energética OSeMOSYS (Open Source Energy Modelling System). Ambas herramientas tienen ventajas y valor agregado, lo que permite contar con un enfoque complementario. Este avance refleja el compromiso institucional por fortalecer la base técnica que soporta la formulación de escenarios energéticos, con énfasis en el rigor analítico, la transparencia y la apertura al escrutinio y la colaboración.

Tanto LEAP como OSeMOSYS son modelos de enfoque “bottom-up”, con amplio detalle tecnológico, diseñados para construir escenarios prospectivos del sistema energético. Sin embargo, presentan diferencias sustanciales en su estructura analítica. Mientras LEAP permite simular el comportamiento del sistema energético a partir de relaciones y supuestos predefinidos entre variables –sin necesariamente buscar la minimización de costos–, OSeMOSYS opera como un modelo de optimización lineal, que identifica la configuración de menor costo del sistema energético para satisfacer una demanda definida, dentro de un conjunto de restricciones técnicas y económicas. Esta característica permite que el modelamiento se enfoque en soluciones más eficientes en términos económicos, contribuyendo a una mejor evaluación de las trayectorias de expansión y transformación del sistema energético.

Dada su modularidad y la disponibilidad del código fuente, OseMOSYS es una herramienta personalizable que también permite desarrollar módulos adicionales para modelar indicadores sociales y ambientales, encadenamientos productivos de los energéticos, y desagregación a nivel regional, por lo que el trabajo futuro permitirá reformular la función objetivo para enfocar los escenarios de los siguientes planes hacia la maximización de beneficios tanto nacionales como locales.

Gráfico 10-1. Metodología para la construcción del modelo energético colombiano

Fuente: Elaboración propia, 2025

La adopción de OSeMOSYS por parte de la UPME se inscribe en un esfuerzo más amplio por adoptar herramientas abiertas y replicables, alineadas con los principios U4RIA (Ubuntu, Reutilización, Recuperabilidad, Repetibilidad, Reconstrucción, Interoperabilidad y Auditabilidad), que promueven la generación de conocimiento colectivo y accesible. Esta transición también busca facilitar la articulación entre distintos modelos y niveles de análisis, permitiendo que los resultados del modelo nacional de OSeMOSYS-Colombia alimenten otros ejercicios específicos del sector eléctrico, como la expansión de la generación, el desarrollo de la infraestructura de transmisión o la evaluación de la suficiencia del sistema.

La transición a OSeMOSYS trae consigo una serie de virtudes que fortalecen la capacidad de análisis del país en materia energética. Entre ellas se destacan:

- la posibilidad de identificar trayectorias de desarrollo más costo-eficientes;
- la transparencia en los supuestos y resultados;
- la oportunidad de construir capacidades técnicas locales mediante el uso de software abierto.

Sin embargo, este proceso también ha implicado desafíos técnicos relevantes. La implementación de un modelo de optimización como OSeMOSYS requiere una mayor especialización técnica, tanto en su formulación como en la interpretación de sus resultados, debido a su estructura matemática y a la necesidad de representar con precisión las características operativas, económicas y tecnológicas del sistema energético nacional.

Uno de los principales retos enfrentados por la UPME ha sido la necesidad de construir una base de datos amplia, confiable y actualizada, que permita alimentar adecuadamente el

modelo y asegurar la calidad de sus proyecciones. En este contexto, se ha adelantado un proceso riguroso de compilación y validación de información técnica, con énfasis en los costos tecnológicos, las eficiencias por tipo de tecnología y las condiciones operativas específicas de las distintas opciones energéticas. Esta base de datos constituye un insumo clave para que el modelo pueda identificar trayectorias de desarrollo costo-eficientes y realistas.

Adicionalmente, se ha incorporado información relacionada con tecnologías emergentes y de interés estratégico para el país, tales como aquellas asociadas a la cadena de valor del combustible sostenible de aviación (SAF), el hidrógeno y sus diferentes vectores tecnológicos, así como opciones de almacenamiento, electrificación de la demanda y nuevos usos de la energía. La integración de estas tecnologías en el modelo no solo amplía el espectro de análisis, sino que también permite explorar escenarios más complejos, consistentes con los objetivos de descarbonización, competitividad e innovación del sector energético.

Este esfuerzo de actualización y consolidación de información técnica ha fortalecido la capacidad institucional de la UPME en materia de modelamiento energético, y constituye un paso fundamental para garantizar la solidez, transparencia y utilidad de los resultados generados por el modelo OSeMOSYS-Colombia en el marco del Plan Energético Nacional 2025–2055.

Finalmente, el aprovechamiento pleno del modelo requiere una articulación institucional sólida, que facilite su uso como instrumento de planeación intersectorial y de soporte a la formulación de políticas públicas. En ese sentido, la UPME continúa trabajando en el fortalecimiento del ecosistema de modelamiento energético nacional, promoviendo el uso de herramientas abiertas, la interoperabilidad entre modelos, y el desarrollo de capacidades técnicas en el sector.

9.2. Visión consensuada de los escenarios energéticos

¿Qué son los escenarios energéticos?

En el contexto del Plan Energético Nacional (PEN) 2025- 2055, un escenario es una herramienta estructurada que describe posibles futuros del sistema energético del país, considerando la interacción de múltiples factores económicos, sociales, tecnológicos, ambientales, regulatorios y políticos. Los escenarios permiten visualizar trayectorias alternativas para la transformación energética y evaluar el impacto de decisiones estratégicas bajo condiciones inciertas. No son predicciones, sino herramientas para la planeación estratégica a largo plazo, que orientan las políticas públicas, la inversión y el diseño de instrumentos regulatorios.

El uso de esta herramienta parte del reconocimiento de dos desafíos interconectados. Por un lado, la necesidad de construir visiones de futuro que reflejen de manera adecuada las posibles trayectorias a largo plazo. Por otro, la importancia de proponer, analizar y seleccionar estrategias a partir de esos futuros posibles, que contribuyan de forma robusta tanto al desarrollo del país como al cumplimiento de los compromisos climáticos. Uno de los enfoques más utilizados para desarrollar estas proyecciones es el método de

escenarios, el cual permite explorar alternativas respondiendo a preguntas del tipo "¿Qué sucedería si...?".

En el marco del Plan Energético Nacional (PEN) 2025–2055, los escenarios tienen como objetivo principal evaluar trayectorias costo-eficientes de desarrollo del sistema energético nacional reconociendo las diferentes incertidumbres a nivel político, tecnológico, social, económico, y ambiental, en consideración a los compromisos climáticos y energéticos adquiridos por el país. Sin embargo, su alcance va mucho más allá, y permite:

- Diseñar y evaluar políticas públicas en curso o en fase de formulación, no solo del sector energía, sino también de sectores estratégicos interrelacionados como el transporte, la industria, la agricultura o la vivienda.
- Identificar oportunidades para el desarrollo y adopción de tecnologías energéticas emergentes y soluciones innovadoras que contribuyan a la diversificación de la matriz energética y a la reducción de emisiones.
- Servir como insumo clave para estudios, análisis prospectivos y ejercicios de planeación por parte del Ministerio de Minas y Energía, la UPME y otras entidades públicas de orden nacional o territorial, privadas, sociedad civil, o académicas.
- Contribuir al diseño, seguimiento y actualización de metas climáticas y energéticas nacionales, articuladas con otros sectores como minería, transporte, infraestructura, entre otros.

El uso de escenarios energéticos no es exclusivo de Colombia; es una herramienta ampliamente reconocida a nivel internacional. Por ejemplo, la Agencia Internacional de Energía (IEA) utiliza escenarios para explorar futuros posibles del sistema energético global. En su hoja de ruta para alcanzar la carbono neutralidad a 2050 plantean estos escenarios: **(i)** Políticas Declaradas (STEPS), que considera las políticas y compromisos actuales de los gobiernos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; **(ii)** Políticas Anunciadas (APS), que incluye las promesas anunciadas por los gobiernos, incluso aquellas que aún no están respaldadas por políticas y legislación concretas; y **(iii)** emisiones cero netas a 2050 (NZE), que traza una ruta para alcanzar emisiones netas cero de CO₂ para 2050, alineada con los objetivos del Acuerdo de París (IEA, 2023).

Así mismo, la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) utiliza escenarios energéticos para asesorar a los países en la planeación de la transición hacia sistemas energéticos sostenibles. A través de su iniciativa *Global Renewables Outlook*, IRENA (2020) presenta rutas tecnológicas y políticas para alcanzar un futuro energético basado en energías renovables, considerando aspectos como la eficiencia energética, la electrificación de sectores finales y la integración de tecnologías emergentes.

En América Latina, Chile y Brasil han institucionalizado procesos de Planeación Energética de Largo Plazo que orientan el desarrollo sostenible del sector. En Chile, la PELP define una hoja de ruta energética basada en proyecciones de oferta y demanda, integrando participación ciudadana, evaluación ambiental estratégica y escenarios como Recuperación Lenta, Carbono Neutralidad y Transición Acelerada (Ministerio de Energía, 2023). En Brasil,

el Plan Nacional de Energía 2050 (PNE 2050) traza la estrategia a largo plazo mediante escenarios prospectivos en un contexto de alta incertidumbre, con revisiones previstas cada cinco años o ante cambios sustanciales (MME/EPE, 2020). Ambos países priorizan decisiones flexibles y coherentes, considerando factores como la descarbonización, avances tecnológicos y metas climáticas, con miras a garantizar seguridad energética, sostenibilidad ambiental y equidad territorial.

En este sentido, los escenarios desarrollados para el PEN 2025–2055 no solo permiten visualizar futuros posibles, sino también articular decisiones coherentes con los objetivos de largo plazo a nivel internacional y nacional, en un contexto de incertidumbre, transformación estructural y urgencia climática. Al alinearse con las mejores prácticas internacionales, Colombia fortalece su capacidad para planificar y ejecutar una transición energética justa y sostenible.

Escenarios Energéticos PEN 2025- 2055

La construcción de los escenarios del sector energético colombiano se llevó a cabo mediante un proceso participativo y estructurado por etapas. En primer lugar, se realizó una revisión de literatura, tanto de estudios previos en Colombia como de ejercicios internacionales de escenarios energéticos. Posteriormente, se llevaron a cabo dos talleres: el primero enfocado en la identificación y selección de variables y factores externos con incidencia en la transición energética; y el segundo orientado a la validación de los escenarios, combinando dichos factores externos con elementos modificables del sistema energético.

Como resultado del proceso de construcción participativa de escenarios, se definieron tres escenarios posibles para el desarrollo del sistema energético colombiano a largo plazo. El **Gráfico 10-2** representa la ubicación de los tres escenarios en un espacio definido por dos dimensiones clave: la ambición climática y la favorabilidad del entorno habilitante (económico, social, ambiental y regulatorio). Estas dimensiones representan los principales ejes jalonadores que determinan el avance y alcance de la transformación sectorial.

Gráfico 10-2. Escenarios de largo plazo para el sector energético de Colombia 2025-2055



Fuente: Elaboración propia, 2024⁴

El modelo propuesto se estructura mediante dos ejes:

1. **Nivel de ambición climática (Eje horizontal):** El cual representa el compromiso de los actores públicos y privados del sector energético con la acción climática y se entiende como su capacidad para implementar políticas y tecnologías que resulten en una reducción efectiva de las emisiones.
2. **Desarrollo del entorno habilitador (Eje vertical):** El cual describe las condiciones del entorno necesarias para la transformación energética y en el que se incluyen aspectos como la disponibilidad de financiamiento y tecnología, el respaldo institucional, la aceptación social, la viabilidad económica así como la estabilidad regulatoria.

Entre mayor sea el reto de implementación y desarrollo, mayor será el grado de ambición para el cumplimiento de los escenarios. La planeación energética busca explorar diversas alternativas y analizar las incertidumbres del futuro del sector energético a través de la construcción de escenarios energéticos a largo plazo. Sin embargo, los escenarios energéticos a largo plazo no son pronósticos definitivos del futuro, por lo que no se puede considerar que un escenario es más probable que otro, o que una trayectoria específica sea la que se vaya a cumplir. Existen incertidumbres que pueden no estar completamente consideradas en los análisis, lo que conlleva un grado de responsabilidad en la actualización de los escenarios con regularidad y, al ser un sector susceptible a variaciones que integran aspectos sociales, ambientales, económicos, entre otros, puede que los mismos no se

⁴ En el anexo 2 se encuentra el detalle de las políticas, regulaciones, hojas de ruta, y estrategias consideradas para cada escenario

hayan considerado o no se puedan reflejar en el modelo. Por tanto conocer las limitaciones del ejercicio, permite trasladar al lector y al tomador de decisión a conclusiones informadas.

Bajo estas consideraciones, es importante dar trascendencia de identificar de manera específica los insumos, las tendencias, los retos, las oportunidades y los riesgos existentes en el entorno nacional, en búsqueda de comprender cómo estos diversos factores pueden influir en la ruta hacia el cumplimiento de los compromisos adquiridos como país. A continuación, se realizará la descripción de los principales insumos y supuestos concatenados como iniciativas para la conceptualización de los tres (3) escenarios energéticos propuestos: **Escenario de políticas declaradas, escenario de políticas anunciadas y escenario hacia la carbono neutralidad.**

El modelado, simulación y caracterización de los escenarios se basó en las dinámicas de los sectores económico (transporte, industria, residencial y terciario). Para esto, se consideraron sus implicaciones socioeconómicas, variables y parámetros distintivos, las tendencias y macrotendencias del mercado, un análisis de datos históricos y la perspectiva social recogida en los Diálogos Nacionales para la Transición Energética Justa, mesas de trabajo y reuniones con actores estratégicos de cada sector. En la **Tabla 10-1** se presenta el resumen de la conceptualización de los escenarios energéticos para el PEN 2025- 2055.

Tabla 10-1. Resumen escenarios energéticos PEN 2025- 2055

Escenario	Explicación	Justificación	Valores clave
Políticas Declaradas	Proyecta la oferta y demanda de energía considerando las opciones disponibles y más costo-efectivas, con una ambición climática limitada y un entorno aún con desafíos significativos para su implementación.. Refleja una trayectoria en la que se mantienen las políticas actuales vinculantes y ya adoptadas, y no incorpora iniciativas futuras o regulaciones en revisión.	Se considera el escenario línea base, útil para evaluar la brecha entre lo comprometido y lo necesario para alcanzar objetivos climáticos más ambiciosos. Refleja el uso de tecnologías disponibles y costo-efectivas. Aunque en este escenario no se alcanzan las metas de carbono neutralidad, sí refleja el progreso logrado hasta ahora y el uso de tecnologías actualmente disponibles y más costo-efectivas para el sistema.	Baja ambición climática; continuidad en el uso de combustibles fósiles, según dinámicas de mercado; tecnologías actuales; menor inversión. Considera únicamente las políticas, estrategias y metas formalmente adoptadas y en implementación en el país hasta el año de corte del modelo (2024).

Escenario	Explicación	Justificación	Valores clave
Políticas Anunciadas	Incluye estrategias, planes y programas indicativos o en proceso de adopción, lo que se traduce en un nivel intermedio de ambición climática y un entorno parcialmente habilitante. Refleja un escenario donde se incorporan políticas, estrategias y metas indicativas que han sido anunciadas públicamente o están en etapa de diseño avanzado, pero que aún no han sido completamente implementadas.	Aunque en este escenario los resultados son más ambiciosos, sigue enfrentando incertidumbres sobre el cumplimiento de las metas climáticas, así como del nivel de implementación efectiva de las políticas anunciadas. Representa una visión más dinámica del futuro, coherente con las intenciones actuales del estado y los actores privados, y los compromisos recientes.	Ambición moderada; expansión de renovables; electrificación creciente; señales de integración de nuevos energéticos y tecnologías.
Carbono Neutralidad	Representa una senda de transformación profunda, en la que se consolidan tanto un entorno altamente favorable —en términos institucionales, regulatorios, económicos y sociales— como un compromiso decidido con el cumplimiento de las metas de la NDC a 2030 y la carbono neutralidad a 2050.	Es el escenario que orienta la planeación hacia una transición energética inclusiva y sostenible, alineada con los compromisos climáticos del país. Este escenario implica transformaciones estructurales profundas, apoyadas en marcos regulatorios habilitantes, mecanismos de financiamiento innovadores y una gobernanza inclusiva y articulada.	Alta penetración de energías renovables, apuesta decidida por la eficiencia energética, electrificación acelerada de usos finales, descarbonización del transporte, las edificaciones y la industria, reducción gradual del uso de combustibles fósiles, aceleración en la entrada de nuevas tecnologías, entre otras medidas.

Fuente: Elaboración propia, 2024

La formulación de estos escenarios requiere identificar y analizar de manera diferenciada aquellos elementos que configuran el entorno futuro del sistema energético. Para ello, se parte de una distinción entre factores externos —fuera del control directo del sector energético— y factores modificables, es decir, aquellos sobre los que el país y sus instituciones pueden incidir mediante políticas públicas, inversiones, innovación tecnológica o decisiones regulatorias.

Los factores externos se relacionan con dinámicas globales, geopolíticas, tecnológicas o climáticas que afectan de manera significativa el comportamiento del sistema energético,

pero que no pueden ser modificadas directamente o hay una capacidad limitada de intervención desde el sector energético colombiano. Estos factores incluyen, por ejemplo, la evolución de la economía global, los precios internacionales de los combustibles fósiles, la disponibilidad de financiamiento climático o los avances tecnológicos globales (ver apartado de análisis de entorno).

Por su parte, los factores modificables son aquellos que, si bien también están sujetos a incertidumbre, pueden ser transformados a través de decisiones estratégicas de política pública, desarrollo institucional o acción de diferentes actores. Incluyen variables como el diseño e implementación de políticas energéticas, la regulación, la aceleración de la electrificación, la adopción de tecnologías bajas en emisiones, o los esquemas de gobernanza del sector.

En el marco del PEN 2025–2055, estos factores se identificaron y seleccionaron mediante un proceso participativo con expertos, y se integraron al modelo matemático OSeMOSYS como insumos clave para la construcción y diferenciación de los escenarios. A continuación, se presentan los factores definidos como relevantes para la proyección del sistema energético colombiano al 2054.

Tabla 10-2. Resumen factores por escenario energético PEN 2025- 2055

GRUPO	FACTOR	POLÍTICAS DECLARADAS (BASE)	POLÍTICAS ANUNCIADAS	CARBONO NEUTRALIDAD 2050
Externos	Crecimiento económico	Tendencia según el marco fiscal de mediano plazo (MFMP)	Tendencia según el marco fiscal de mediano plazo (MFMP)	Tendencia según el marco fiscal de mediano plazo (MFMP)
	Precio de combustibles fósiles	Actual	Medio	Bajo
	Disminución de los costos de tecnologías y energéticos para la transición	Tendencia actual para solar y eólica	Disminución media	Disminución rápida para las tecnologías que hoy tienen incertidumbre
	Aceptación social	Tiempos promedio actuales para permisos, retrasos significativos.	Reducción gradual de tiempos, como resultado de experiencias adquiridas en procesos pasados.	Tiempos reducidos, como resultado de mejora en procesos participativos. Limitación de potenciales energéticos para minimizar conflictos sociales y ambientales.
	Entorno regulatorio	Actual	Favorable, con mayor ambición	Estabilidad en el marco fiscal y en la política energética,

GRUPO	FACTOR	POLÍTICAS DECLARADAS (BASE)	POLÍTICAS ANUNCIADAS	CARBONO NEUTRALIDAD 2050
				con instrumentos claros, modernos y vinculantes.
Carbono Neutralidad e Impuesto al carbono	Carbono neutralidad al 2050	Incierto (según resultado del modelo)	Incierto (según resultado del modelo)	Restricción alineada con la estrategia E2050.
	Metas medidas de mitigación PIGCC sectoriales vigentes	Incierto	Incierto	Alineado
	Impuesto al carbono	Tarifa base por tonelada de CO ₂ eq en \$27.399,14, trayectoria creciente según la Ley 2277 de 2022	Máximo número de UVT (3) trayectoria creciente según la Ley 2277 de 2022	Incremento gradual, alineado con recomendaciones internacionales de precios requeridos para la carbono neutralidad con un supuesto a 2030 de 50 USD ⁵ , y superior a 150 USD para 2050.
Tecnologías y energéticos para la transición: Electromovilidad, Hidrógeno de bajas emisiones, CCUS, Bioenergía	Electromovilidad	Tendencia histórica y medidas obligatorias de la Ley 1964-1972/2019	Estrategia de movilidad sostenible actual, considerando el cumplimiento de la meta de 600,000 vehículos eléctricos para 2030.	Tendencia a la carbono neutralidad.
	Hidrógeno de bajas emisiones	Tendencia costo efectiva	Hoja de ruta del hidrógeno y metas actualizadas según hoja de ruta TEJ)	Tendencia a la carbono neutralidad, considerando proyectos de pre y factibilidad según el ecosistema H ₂ Colombia (MME, 2025)
	Captura, Uso y Almacenamiento de Carbono (CCUS)	Tendencia costo efectiva	Tendencia costo efectiva	Tendencia a la carbono neutralidad
	Bioenergía	Tendencia actual - Mezclas	Tendencia costo efectiva - señales	Tendencia a la carbono

⁵ <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/e49473de-ad98-5d26-8add-102687c9dc80/content>

GRUPO	FACTOR	POLÍTICAS DECLARADAS (BASE)	POLÍTICAS ANUNCIADAS	CARBONO NEUTRALIDAD 2050
		Biocombustibles 10%	de SAF, y alternativas para termoeléctricas	neutralidad.
Infraestructura y uso eficiente de la energía	Capacidad de transmisión	Restricción de la capacidad de transporte según tendencia actual - Misión transmisión (Obras Urgentes, incluyendo compensadores síncronos)	Restricción de la capacidad de transporte según Misión Transmisión y Proyectos anunciados (Colectora, HDVC, baterías)	Despliegue necesario para la capacidad instalada requerida, según modelo
	Medidas sectoriales de Eficiencia Energética	Cumplimiento parcial de metas PROURE (40%)	Cumplimiento de metas PROURE (100%)	Aumento en ambición del PROURE (120%)
	Uso de leña	Tendencia costo efectiva del Plan Nacional de Sustitución de Leña (PNSL).	Metas establecidas en PROURE.	Tendencia a la carbono neutralidad, manteniendo usos culturales y ancestrales con estufas eficientes y limpias.
	Cierre o Reconversión plantas carboeléctricas	Tendencia costo efectiva con las plantas activas actualmente	Anuncios oficiales de cierre o reconversión	Tendencia a la carbono neutralidad
Producción Combustibles Fósiles	Producción petróleo	Reservas probadas	Producción anunciada por agentes	Tendencia a la carbono neutralidad.
	Producción gas onshore y offshore	Reservas probadas	Disponibilidad actual incluyendo offshore	Tendencia a la carbono neutralidad
	Producción Carbón	Producción declarada por empresas mineras	Producción declarada por empresas mineras	Tendencia a la carbono neutralidad

Fuente: Elaboración propia

10. PLANES ESTRATÉGICOS DEL PEN 2025- 2055

¿Cuál es el nuevo enfoque de implementación?

El PEN 2025- 2055 se constituye como un ejercicio de planeación a largo plazo hacia la descarbonización de Colombia, organizado para posicionar al sector energético como un catalizador del desarrollo económico sostenible y la equidad social. Su diseño integra metas a corto, mediano y largo plazo, que se esperan materializar a través de seis planes estratégicos: eficiencia energética, diversificación energética, movilidad sostenible, infraestructura energética, industrialización, e innovación y desarrollo.

Los seis planes estratégicos del Plan Energético Nacional 2025–2055 tienen como propósito dar respuesta y articular las líneas de acción definidas en el CONPES 4075 de 2022, así como los principios establecidos en la Hoja de Ruta para una Transición Energética Justa. Con ello, se busca avanzar hacia una transición energética equitativa, inclusiva y sostenible en Colombia.

Estas líneas de acción comprenden la descarbonización del sistema energético, el aumento de la eficiencia, la promoción de fuentes de energía renovables, la diversificación de la matriz energética y la optimización de la infraestructura. Al abordar estos ejes, los planes también contribuyen al cumplimiento de compromisos de política pública, como la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), que orienta los esfuerzos del país para mitigar emisiones y adaptarse al cambio climático.

En el Anexo 1 se presenta un análisis de la normatividad vigente aplicable a cada uno de estos planes. A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de los planes que integran este enfoque de implementación.

1

Eficiencia Energética Este componente busca optimizar el uso de recursos energéticos en todos los sectores económicos, promoviendo tecnologías avanzadas, sustitución de energéticos y buenas prácticas de consumo. La eficiencia energética es esencial no sólo para reducir el consumo, sino también para impulsar la sostenibilidad y responsabilidad ambiental, aumentando la resiliencia energética del país.

2

Diversificación Energética La diversificación de fuentes energéticas fortalece la resiliencia y sostenibilidad del sistema energético. Este plan promueve la incorporación de energías renovables y no convencionales, disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles y mejorando la capacidad de respuesta frente a fluctuaciones en los mercados y cambios ambientales.

3

Movilidad Sostenible La transición hacia una movilidad sostenible requiere superar desafíos tecnológicos y de infraestructura. Este plan no solo fomenta para el transporte la adopción de fuentes de energía limpia y eficientes, sino que impulsa la investigación y el desarrollo en soluciones energéticas avanzadas, consolidando un sistema de transporte más resiliente y ambientalmente consciente.

4

Infraestructura Energética Este plan estratégico aborda la optimización y expansión de la infraestructura energética, mejorando la generación, transmisión, distribución y uso de energía. La infraestructura robusta y confiable es vital para atender el aumento de la demanda y los desafíos de la oferta, asegurando un suministro seguro y sostenible.

5

Industrialización Este plan se articula transversalmente con los demás capítulos o planes, apoyando la ejecución de algunas de las apuestas en movilidad, eficiencia, diversificación e infraestructura, a la vez que impulsa procesos de reindustrialización que optimicen el consumo y la gestión de insumos energéticos. A través de la reindustrialización, se promueve una integración sinérgica entre la oferta y la demanda energética para impulsar la competitividad de las industrias clave, generando oportunidades de crecimiento económico sostenible.

6

Innovación y Desarrollo Este plan promueve soluciones tecnológicas y sociales que permitan una transición energética justa, descentralizada e inclusiva, adaptada a las necesidades del país. Adicionalmente, articula tecnologías emergentes, nuevos modelos de negocio y esquemas de gobernanza.

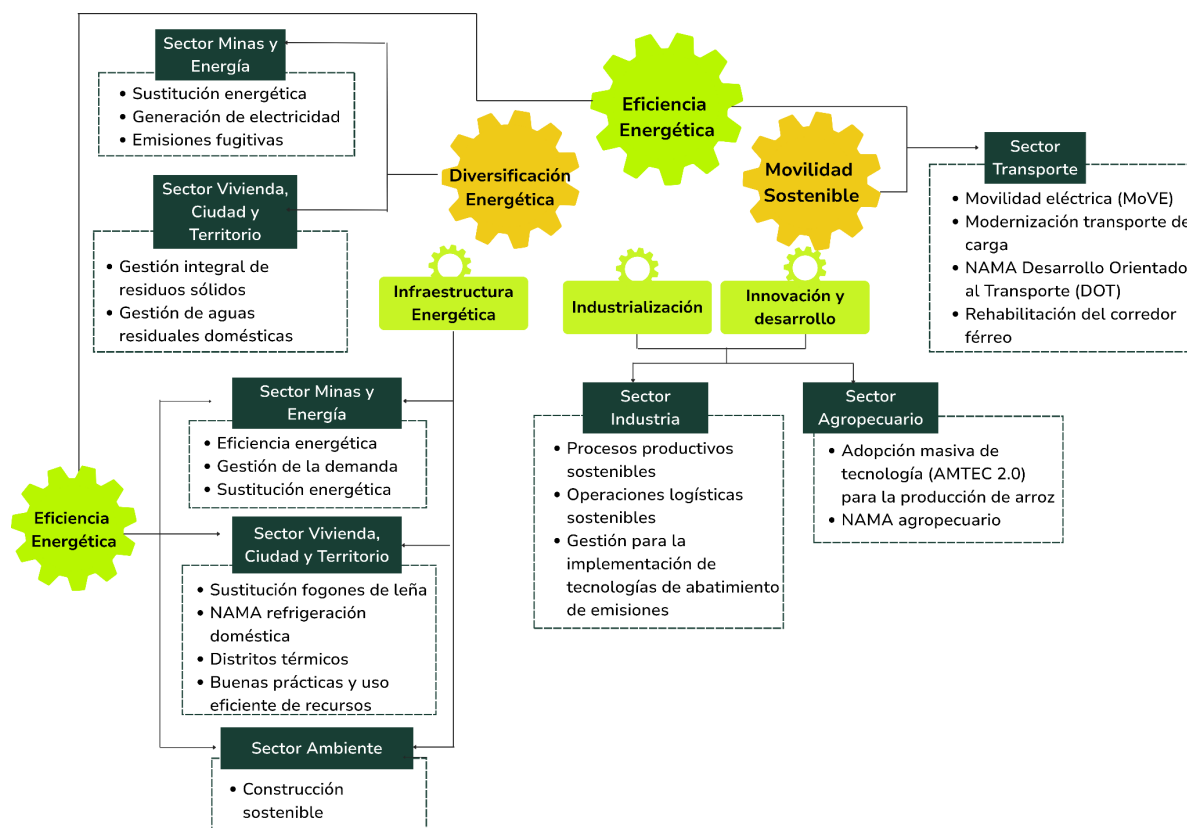
Alineación de los Planes Estratégicos con las medidas de mitigación de la NDC

El país cuenta con la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) para el periodo 2020-2030. La NDC incorpora tres componentes: i) mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), ii) adaptación al cambio climático, y iii) medios de implementación como componente instrumental de las políticas y acciones para el desarrollo bajo en carbono, adaptado y resiliente al clima (MinAmbiente, 2020).

Respecto al componente de mitigación de GEI se estableció la meta de emitir como máximo 169,44 millones de tCO₂eq en 2030 equivalente al 51% de las emisiones estimadas para esa misma época, iniciando un decrecimiento en las emisiones entre 2027 y 2030 orientado a la carbono-neutralidad a mediados de siglo. Para su implementación se identifica un portafolio de 32 medidas de carácter nacional, las cuales son lideradas por carteras ministeriales y algunas de ellas se incorporan en los Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático sectorial (PIGCCs).

Dada la relevancia de la implementación de las medidas de mitigación de la NDC, en el **Gráfico 7-1** se presenta la alineación de los planes estratégicos del PEN con 24 de las 32 medidas de mitigación lideradas por cada cartera ministerial.

Gráfico 7-1. Alineación de planes estratégicos con las medidas de la NDC



Fuente: Elaboración propia

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Analdex. (2024, March 4). Informe Producto Interno Bruto de 2023. Analdex. Retrieved Diciembre 19, 2025, from <https://analdex.org/2025/02/19/informe-producto-interno-bruto-iv-trimestre-de-2024/>
- Babatunde, O., Adebisi, J., Emezirinwune, M., Babatunde, D., & Abdulsalam, K. (2024). How serious are ethical considerations in energy system decarbonization? <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2024.101477>.
- Banco de la República. (2011). Colombia en Cifras 2010. <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/2010.pdf>
- CEPAL. (2017). Balance Preliminar de las Economías de América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/263e5c54-bd54-4cfa-b9c0-408c9ae93e7d/content#:~:text=Colombia-,La%20actividad%20econ%C3%B3mica%20en%202017%20se%20caracteriz%C3%B3%20por%20una%20demanda,2%2C0%25%20en%202016>.
- CR2. (2021). Gobernanza Climática de los Elementos. https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2021/08/Informe_a_las_Naciones_Gobernanza_de_los_Elementos.pdf
- DANE. (2017). FICHA TÉCNICA DE INDICADORES OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE CONPES 3918. <https://www.dane.gov.co/files/indicadores-ods/indicadores/09/ODS09-Indicadores-nacionales/951G-Inversion-en-investigacion-y-desarrollo-como-porcentaje-de-Producto-Interno-Bruto-PIB.pdf>
- DANE. (2023). Cuenta Satélite Ambiental (CSA). <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/cuenta-satelite-ambiental-csa#cuenta-ambiental-y-economica-de-las-actividades-ambientales-y-transacciones-asociadas-cae-aata>
- DANE. (2023, May 5). Boletín técnico - Bogotá. DANE. Retrieved May 26, 2025, from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuenta_ambiental_economica_energia_emisiones/Bol_Energia_emisiones_2021_provisional.pdf
- DANE. (2024). HOJA METODOLÓGICA DE INDICADORES CUENTA SATÉLITE AMBIENTAL Dirección de Síntesis y Cuentas Nacionales. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/indicadores/cuenta-ambiental-y-economica-flujos-de-energia/consumo-energia-percapita/hoja-metodologica-consumo-de-energia-percapita.pdf
- DANE. (2025, April 25). Comunicado de prensa. DANE. Retrieved April 29, 2025, from <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/ECV/bol-ECV-2024.pdf>

- DANE. (2025). Exportaciones. DANE. Retrieved May 27, 2025, from <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones>
- DNP. (2023). Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/pnd-2022-2026>
- DNP. (2023, December 21). CONPES 4129. Subdirección de Gestión y Desarrollo del Talento Humano. Retrieved November 12, 2024, from <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4129.pdf>
- Función Pública. (2015). Ley 1753 de 2015. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=61933>
- Función Pública. (2018). Ley 1931 de 2018. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765>
- Función Pública. (2021). Ley 2099 de 2021. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>
- Gobierno de Colombia. (2021). Estrategia climática de largo plazo de Colombia E2050 para cumplir con el Acuerdo de París. MinAmbiente, DNP, Cancillería, AFD, Expertise France, WRI: Bogotá.
- Gomez, J. E., & Campo, J. (2023, December 3). Diversificar la economía colombiana. Razón Pública. Retrieved November 12, 2024, from <https://razonpublica.com/diversificar-la-economia-colombiana/>
- Harlem, G. (2012). Implicaciones éticas en la producción y consumo de energía a través de fuentes energéticas renovables y no renovables. CORE. Retrieved November 12, 2024, from <https://core.ac.uk/reader/47264972>
- Harvard College. (2023). The Atlas of Economic Complexity.
- Ideam, Minambiente, DNP, Cancillería, PNUD, Fundación Natura. (2024). Primer Informe Bial de Transparencia de Colombia. Bogotá D.C., Colombia
- IEA. (2022). Energy Data. <https://www.iea.org/world/efficiency-demand>
- IEA. (2023, July 10). Behavioural Changes - Energy System - IEA. International Energy Agency. Retrieved November 12, 2024, from <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/behavioural-changes>
- IEA. (2023, September 26). Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach – Analysis. IEA. Retrieved May 27, 2025, from <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>
- IPCC. (2012). 1 - Climate Change: New Dimensions in Disaster Risk, Exposure, Vulnerability, and Resilience. IPCC. Retrieved November 12, 2024, from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap1_FINAL-1.pdf

- IRENA. (2020). Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050. <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>
- MinAmbiente. (2018). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de Resolución 1447: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/15.-Resolucion-1447-de-2018.pdf>
- MinAmbiente. (2020). Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC) . Obtenido de <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/NDC%20actualizada%20de%20Colombia.pdf>
- MinAmbiente. (2020). Ley 164 DE 1994. Obtenido de Diario Oficial No. 41.575, del 28 de octubre de 1994: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/1.-Ley-160-de-1994.pdf>
- MinAmbiente. (2021). Estrategia 2050 -. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Retrieved November 12, 2024, from <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/estrategia-2050/>
- MinAmbiente. (2021). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/estrategia-2050/>
- MinCiencias. (2021). Grupos de Investigación reconocidos por Minciencias. Minciencias. Retrieved May 26, 2025, from <https://minciencias.gov.co/la-ciencia-en-cifras/grupos>
- MinEnergía. (2021). Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sector Minero Energético 2050 . Obtenido de https://www.minenergia.gov.co/documents/6393/PIGCCme_2050_vf.pdf
- MinEnergía. (2024). Reporte Y Verificación (MRV) de Mitigación de Emisiones GEI del PIGCCme. Obtenido de Ministerio de Minas y Energía: <https://pigccme.minenergia.gov.co/public/web/documentos>
- MinHacienda. (2024). Finanzas Verdes para el Desarrollo Sostenible del País. Obtenido de Plan Integral de Gestión del Cambio Climático y Biodiversidad del Sector Hacienda (PIGCCSH+B): <https://www.minhacienda.gov.co/documents/20119/2169404/Plan+Integral+de+Ge+sti%C3%B3n+del+Cambio+Clim%C3%A1tico+y+Biodiversidad+del+Sector+Hacienda.pdf/7f48cfd0-4e71-b6d7-f5cc-267a38e664d4?t=1738247077311>
- MinIndustria. (2021). Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sector Comercio, Industria y Turismo. Obtenido de <https://www.mincit.gov.co/normatividad/proyectos-de-normatividad/proyectos-de-resolucion-2021/24-05-2021-pigccs-2021-05-02.aspx>
- Ministerio de Energía. (2023). Planificación energética de largo plazo. https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_definitivo_pelp_2023-2027.pdf
- MinVivienda. (2020). Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sectorial. Obtenido de Sector Vivienda, Ciudad y Territorio:

<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/pigccs-anexo-resolucion-0431-2020.pdf>

- MME. (2025). DOCUMENTO METODOLÓGICO PARA MEDIR LA POBREZA ENERGÉTICA MULTIDIMENSIONAL EN COLOMBIA MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA Ministro d. Ministerio de Minas y Energía. Retrieved May 26, 2025, from <https://www.minenergia.gov.co/documents/13468/Documento-metodologico-IPEM-MME-2025.pdf>
- MME. (2025). Ecosistema H2. <https://www.minenergia.gov.co/es/ecosistema-hidrogeno-colombia/>
- MME/EPE. (2020). Plano Nacional de Energia 2050 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. https://climate-laws.org/documents/national-energy-plan-2050_c416?id=national-energy-plan-2050_fe2d
- SSPD. (2022). Diagnóstico de la calidad del servicio de energía eléctrica en Colombia 2022. <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-de-Calidad-del-Servicio-de-Energia-2022.pdf>
- SUIN. (Diciembre de 2021). Sistema Único de Información Normativa. Obtenido de Ley 2169 de 2021: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30043747#:~:text=15.y%20desarrollo%20bajo%20en%20carbono>.
- UPME - ECOSIMPLE. (2019). Guia para la incorporación de la dimensión minero energética en los planes de ordenamiento territorial municipal. Bogotá D.C. Retrieved Marzo 31, 2025, de: <https://www1.upme.gov.co/Documents/Enfoque-territorial/Metodologia-enfoque-territorial.pdf>
- UPME - JA&A. (2021, Diciembre 21). Metodología general aplicable a los planes formulados por la UPME para incorporar en ellos el enfoque territorial. Guía práctica. Bogotá D.C. Retrieved Marzo 31, 2025, de: <https://www1.upme.gov.co/Documents/Enfoque-territorial/Metodologia-enfoque-territorial.pdf>
- UPME. (2018). DOCUMENTO METODOLÓGICO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, 2018. https://www1.upme.gov.co/siel/PIEC/2019-23/Documento_Metodologico_ICEE_2018_Sep152022.pdf
- UPME. (2019). Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Perdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética Resumen Ejecutivo. <https://www.upme.gov.co/simec/oferta-y-demanda/balance-de-energia-util-para-colombia-beu/>
- UPME. (2022, Agosto 23). Resolución No. 339 de 2022. “Por la cual se adopta el enfoque territorial en la actividad de planeación de la UPME y se establecen disposiciones sobre el Sistema de Información Socio Ambiental – SSA” . Bogotá D.C. Retrieved Marzo 31, 2025, de: https://docs.upme.gov.co/Normatividad/339_2022.pdf

UPME. (2025). Balance Energético Colombiano.
<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/BECO.aspx>

UPME. (2023). La Justicia en el Sector Energético Colombiano: Una Mirada Holística.
 UPME. Retrieved November 12, 2024, from
https://www1.upme.gov.co/Documents/Enfoque-territorial/Resultados_convenios/3_Justicia_Energetica_UDEA_v2.pdf

UPME. (2025). Territorio Vivo. <https://www.upme.gov.co/home/territorio-vivo/>

WEC. (2024). World Energy Trilemma Index.
<https://trilemma.worldenergy.org/reports/main/2023/World%20Energy%20Trilemma%20Index%202024.pdf>

WEF. (2024). Fostering Effective Energy Transition.
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2024.pdf

XM. (2024). Generación Real del SIN.
<https://sinergox.xm.com.co/oferta/Paginas/Informes/GeneracionSIN.aspx>

11. ANEXO 1. ANÁLISIS NORMATIVO VIGENTE PARA LOS PLANES ESTRATÉGICOS

El PEN 2025- 2055 se estructura en torno a seis planes estratégicos que abordan los principales desafíos del sector y establecen una visión integral de la transición energética justa para Colombia. Estos planes incluyen, entre otros, estrategias para diversificar la matriz energética, promover la eficiencia energética, desarrollar fuentes de energía renovable y garantizar el acceso equitativo y confiable a la energía. Cada plan estratégico no solo responde a objetivos específicos, sino que también contribuye de manera articulada al logro de la visión general del PEN y su alineación con compromisos internacionales como el Acuerdo de París, la Estrategia Climática 2050 y la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Colombia. A continuación se presenta un análisis del marco normativo vigente aplicable a cada uno de los planes:

Plan Estratégico - Eficiencia Energética

En Colombia, la eficiencia energética constituye un eje habilitante de la transición energética justa, en la medida en que contribuye a reducir la demanda final de energía, mejorar la competitividad de los sectores económicos, disminuir costos de operación y apoyar el cumplimiento de las metas de mitigación de gases de efecto invernadero. En esa lógica, el marco normativo vigente no debe entenderse únicamente como un conjunto de instrumentos orientados al ahorro energético, sino como una base para la reconversión tecnológica, la sustitución progresiva de energéticos y la adopción de mejores prácticas de uso final de la energía. El PEN 2025-2055 incorpora la eficiencia energética como uno de sus planes estratégicos, articulado con los pilares de confiabilidad, competitividad, inclusividad y carbono neutralidad

El marco normativo principal de este plan estratégico se estructura a partir de la Ley 697 de 2001, que declaró el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, y del PAI-PROURE 2022-2030, adoptado mediante la Resolución MME 40156 de 2022, como instrumento técnico para la definición de metas indicativas, medidas y acciones sectoriales. A ello se suman la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021, que fortalecen la integración de fuentes no convencionales de energía renovable, sistemas de almacenamiento y gestión eficiente de la energía. Desde la política pública también resultan relevantes el CONPES 3919 de 2018, sobre edificaciones sostenibles, y el CONPES 4075 de 2022, que reconoce la eficiencia energética y la innovación como componentes de la transición energética.

Adicionalmente, cabe mencionar la Resolución UPME 135 de 2025, en la medida en que actualiza el procedimiento para evaluar solicitudes y emitir certificados que permiten acceder a los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014, fortaleciendo así los mecanismos de implementación del plan.

En el sector residencial, este plan estratégico adquiere especial relevancia, dado que dicho sector representa el 19% del consumo final de energía del país y que la cocción concentra el 70% de la energía final utilizada en los hogares. A su vez, más del 90% del consumo del sector se concentra en leña, gas natural y electricidad, lo que evidencia que la transición residencial no depende únicamente del recambio de electrodomésticos o de medidas convencionales de eficiencia, sino también de la sustitución progresiva de combustibles contaminantes y del mejoramiento de los usos finales dentro de la vivienda.

En consecuencia, el análisis normativo de la eficiencia energética debe articularse con instrumentos orientados a la reconversión tecnológica en cocción, la difusión de equipos más eficientes, el etiquetado energético, la construcción sostenible y la transformación de patrones de consumo.

Lo anterior es especialmente importante en el ámbito rural, El Plan Estratégico de Eficiencia Energética reconoce que la sustitución de leña es principalmente una medida para la ruralidad colombiana, pues la leña sigue siendo utilizada por aproximadamente 1.691.000 hogares, cerca del 10% del total nacional, y en centros poblados y rural disperso se mantiene el consumo de combustibles contaminantes en al menos el 40,09% de los hogares. El mismo documento identifica como energéticos alternativos para la transición el gas natural, GLP, biogás y energía eléctrica, y prevé un proceso progresivo de modernización de la cocción urbana y de sustitución de la leña en la ruralidad. Por ello, además del marco general de eficiencia energética, resulta pertinente incorporar como antecedente complementario la ruta de sustitución de leña por energéticos de transición, en tanto muestra la necesidad de articular medidas de acceso, equipos, consumo y acompañamiento territorial.

En términos de implementación, el desarrollo del Plan Estratégico de Eficiencia Energética exige una articulación institucional amplia. Las medidas del sector residencial demandan coordinación entre el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y otras entidades con competencias sectoriales y territoriales. El propio PEN reconoce acciones sectoriales relacionadas con uso eficiente de recursos boscosos, sustitución de fogones tradicionales, ascenso tecnológico en refrigeración y buenas prácticas de consumo. En consecuencia, el anexo puede fortalecerse si, además de enlistar normas, identifica de manera expresa las principales barreras de implementación: brechas tecnológicas, limitaciones de financiamiento, necesidad de reconversión de equipos, difusión insuficiente y retos de focalización territorial, especialmente en el sector residencial rural.

Actualmente, el marco normativo colombiano para la eficiencia energética está principalmente estructurado en torno a:

- **Ley 697 de 2001 y Resolución MME 40156 de 2022 (PAI-PROURE 2022-2030):** Promueven el uso racional y eficiente de la energía, con el PAI-PROURE como guía técnica para alcanzar metas de eficiencia en los sectores de transporte, industrial y residencial.
- **Ley 1715 de 2014 y Ley 2099 de 2021:** Estimulan las fuentes no convencionales de energía (FNCE) y la adopción de sistemas de almacenamiento, contribuyendo a

las acciones de eficiencia energética y definiendo el alcance del Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía PAI-PROURE.

- **CONPES 3919 de 2018 - Política Nacional de Edificaciones Sostenibles:** Busca impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad para todos los usos y dentro de todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones.
- **CONPES 4075 de 2022 - Política de Transición Energética:** Aborda la seguridad energética y la necesidad de innovación para reducir emisiones en el sistema energético.

Desde la declaración del Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, por medio de la Ley 697 de 2001. Así como el desarrollo de la Ley 1715 de 2014, que promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía sistemas de almacenamiento de tales fuentes y gestión eficiente de la energía, y su actualización por medio de la ley 2099 de 2021, la Gestión Eficiente de la Energía tiene un rol esencial en las estrategias enfocadas en una Transición Energética Justa - TEJ y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS.

El CONPES 4075 identificó retos asociados a mejorar la seguridad y confiabilidad energética, disponibilidad de los recursos y estrategias para promover la innovación y el conocimiento, acciones para fomentar la competitividad y desarrollo económico, así como la identificación de las fuentes de altas emisiones asociadas al sistema energético del país.

En paralelo y alineado con visibilizar un plan específico sobre el uso eficiente de la energía, la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME en el marco de su función de “fomentar, diseñar y establecer los planes, programas y proyectos, relacionados con el uso eficiente, ahorro y conservación de la energía en todos los campos de la actividad económica y adelantar las labores de difusión necesarias”, desarrolla el Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía PAI-PROURE para el periodo 2022-2030, el cual es adoptado por el Ministerio de Minas y Energía a través de la Resolución 40156 de 2022.

A continuación, se presenta un análisis de las señales habilitantes del marco normativo vigente enfocadas en eficiencia energética, y adicionalmente, un análisis de las barreras o retos que se identifican en dichos instrumentos normativos.

Ley 697 de 2001 - Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas; y Resoluciones por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo para el desarrollo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía - PAI PROURE

Señales habilitantes

- La Ley 697 establece el marco para promover el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE), incentivando la implementación de prácticas de eficiencia energética en sectores clave como el transporte, el industrial y el residencial

- La Ley 697 crea el Programa de Uso Racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales -PROURE-, cuyo objeto es aplicar gradualmente programas para que toda la cadena energética, esté cumpliendo permanentemente con los niveles mínimos de eficiencia energética y sin perjuicio de lo dispuesto en la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.
- La Resolución PAI PROURE proporciona metas indicativas y estrategias concretas para reducir el consumo de energía y optimizar su uso en los sectores de consumo. Actúa como una guía técnica para orientar las acciones y políticas de eficiencia energética, respaldada por estudios técnicos de la UPME.
- Se promueven programas de etiquetado, fortalecimiento y apoyo a la industria y la academia, incentivos y campañas de sensibilización y capacitación, dirigidos a cambiar los hábitos de consumo energético en diferentes sectores y promover el uso de tecnologías eficientes.

Barreras identificadas

- Si bien actualmente existe una oferta de financiamiento, la falta de identificación y gestión efectiva de estos recursos limita su aprovechamiento para implementar tecnologías de eficiencia energética y modernización de equipos en sectores productivos y residenciales. Esta barrera restringe el alcance y los resultados esperados del PROURE.
- La falta de campañas estructurales y permanentes de sensibilización, dado que muchos usuarios finales aún desconocen los beneficios energéticos, económicos y ambientales de la eficiencia energética.
- Existe un limitante en la disponibilidad de información que evidencie y cuantifique el impacto de la eficiencia energética en la economía.
- Las metas de Estado sobre Eficiencia Energética existentes son indicativas y no de obligatorio cumplimiento.

Ley 1715 de 2014 - Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional

Señales habilitantes

- Esta ley creó el marco legal para la promoción de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), reduciendo la incertidumbre para el despliegue de estas tecnologías e incentivando su uso. Tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Busca promover la gestión eficiente de la energía y sistemas de medición inteligente, que comprenden tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

- En su artículo 11, 12, y 13 se establecen instrumentos de incentivos tributarios relacionados con deducción de renta, exclusión del IVA, e incentivo arancelario, respectivamente, para la promoción de proyectos de FNCE y eficiencia energética.
- En el artículo 26, se redefine el alcance del PROURE con un enfoque específico para eficiencia energética buscando una concreción de las actuaciones en esta materia, el establecimiento de plazos para la ejecución de las mismas, la atribución de responsabilidades en el ámbito de las Entidades Públicas y la identificación de las diferentes formas de financiación y necesidades presupuestarias.
- A través del financiamiento desde el FENOGE, se promueve el desarrollo de iniciativas que mejoren la gestión eficiente de la energía en las ZNI.
- Impulsa que el Gobierno nacional, y el resto de las administraciones públicas, deben adoptar planes de gestión eficiente de la energía, que incluirán acciones en eficiencia energética y mecanismos de respuesta de la demanda.

Barreras identificadas

- Los incentivos tributarios no son el mecanismo recomendado en el marco de la sustitución de leña, dada la población objetivo y que las barreras no sólo se limitan al costo de las estufas, sino que existen otros aspectos económicos y culturales que deben superarse para ver adelantos efectivos (UPME, 2022).
- Los incentivos tributarios están dirigidos a subsanar una de las principales barreras para la reconversión tecnológica, que corresponde a los precios de adquisición de
- los nuevos vehículos. Sin embargo, esta señal debe ser complementada con otras políticas orientadas a reducir los riesgos percibidos por los usuarios finales con relación al ascenso tecnológico. Además limita algunas tecnologías como el despliegue de la biomasa, dado que impulsa únicamente su uso para la generación de electricidad (UPME, 2022).

Ley 2099 de 2014 - por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones

Señales habilitantes

- Esta ley dicta disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y otras disposiciones.
- Busca promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, sistemas de almacenamiento de tales fuentes y la gestión eficiente de la energía.
- Crea el sello de producción limpia, con el fin de incentivar el uso de Fuentes No Convencionales De Energías Renovables en las empresas e industrias; el cual será asignado a todos aquellos que utilicen únicamente Fuentes No Convencionales de Energías Renovables como fuentes de energía en los procesos de producción e inviertan en mejorar su eficiencia energética.

- Incluye en los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014 como medida de fomento a la investigación, el desarrollo, y la inversión en gestión eficiente de la energía, incluyendo la medición inteligente, a partir de la priorización de las medidas que se encuentren en el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales (PAI-PROURE) como única condición para acceder a los incentivos.

Barreras identificadas

- Los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014 son de difícil implementación para algunos casos en el sector residencial si es el usuario final quien accede directamente a ellos. Sin embargo, se puede gestionar a través de los constructores de vivienda para las nuevas construcciones o los distribuidores de energía eléctrica para los usuarios existentes (UPME, 2022).

CONPES 3919 de 2018 - Política Nacional de Edificaciones Sostenibles

Señales habilitantes

- Impulsa la inclusión de criterios de sostenibilidad para todos los usos y dentro de todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones.
- Se propone un programa de incentivos financieros para hogares y constructores de edificaciones sostenibles, en aquellos proyectos que cumplan con estándares de sostenibilidad, como reducción de impuestos prediales o facilidades en licencias urbanísticas.
- Promueve la integración de criterios sostenibles en Planes de Ordenamiento Territorial (POT), posibilitando edificaciones más alineadas con el entorno; así mismo, como una estrategia para la gestión del riesgo de desastres.
- Impulsa programas de formación para actores del sector (arquitectos, constructores y operadores) sobre prácticas sostenibles y tecnologías verdes.
- Define la creación de sistemas de indicadores para medir la sostenibilidad en edificaciones, como el consumo de energía, agua y huella de carbono.

Barreras identificadas

- Aunque se contemplan incentivos, el alcance y efectividad de estos han sido limitados en varias regiones, especialmente en municipios pequeños; puesto que, las tecnologías y materiales sostenibles suelen ser más costosos inicialmente, lo que desincentiva a desarrolladores con recursos limitados.
- Poca apropiación por parte del sector privado, puesto que si bien se incluyen lineamientos, muchos desarrolladores ven la sostenibilidad como una carga adicional y no como una ventaja competitiva.
- Los consumidores no siempre perciben el valor agregado de adquirir edificaciones sostenibles, reduciendo la demanda de este tipo de inmuebles.

CONPES 4075 de 2022 - Política de Transición Energética

Señales habilitantes

- El documento CONPES 4075 aborda la seguridad energética de Colombia, estableciendo la necesidad de diversificar la matriz energética y mejorar la resiliencia del sistema frente a riesgos climáticos, geopolíticos y de disponibilidad de recursos.
- Propone incentivar la innovación en tecnologías de bajas emisiones y mejorar la eficiencia en sectores como el industrial, energético y de transporte, integrando criterios ambientales y sociales en la planeación energética.
- Fomenta la colaboración entre sectores y la inclusión de actores no tradicionales en la transición energética, como el sector financiero, para incentivar inversiones sostenibles y atraer financiamiento verde.
- Apoya la integración de tecnologías de eficiencia energética en todos los sectores, alineada con los objetivos de reducción de emisiones de Colombia.

Barreras identificadas

- La implementación efectiva del CONPES depende de la coordinación entre múltiples entidades públicas y privadas, que en ocasiones tienen objetivos o capacidades distintas, lo que puede diluir los esfuerzos.
- Sectores con altos consumos de energía como el industrial y el transporte pueden mostrar resistencia al cambio tecnológico debido a los costos y los desafíos operativos involucrados en la transición energética.

Resolución UPME 135 de 2025-Por la cual se establecen los requisitos, el procedimiento y las tarifas a cobrar para evaluar las solicitudes y emitir los certificados que permitan acceder a los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014.

Señales habilitantes:

- Actualiza y fortalece el procedimiento de acceso a incentivos tributarios para proyectos de eficiencia energética, al establecer requisitos, procedimiento y tarifas para evaluar solicitudes y emitir los certificados que permiten acceder a los beneficios de la Ley 1715 de 2014.
- Mejora la operatividad del esquema de implementación de los incentivos, al dar mayor claridad procedimental a los actores interesados en desarrollar proyectos de reconversión tecnológica y gestión eficiente de la energía.
- Genera trazabilidad e información para política pública, pues la aplicación del procedimiento ha permitido a la UPME identificar tendencias tecnológicas, costos y barreras que enfrentan los usuarios en los procesos de renovación tecnológica, así como necesidades de reglamentación técnica.
- Impacto material en la implementación del plan, dado que entre 2022 y 2025 (a corte abril) se expidieron 2.156 certificados favorables, concentrados principalmente en proyectos de construcción sostenible, transporte y sector terciario, lo que

muestra que el instrumento sí está dinamizando inversiones en eficiencia energética.

- Fortalece la conexión entre marco normativo e inversión privada, en la medida en que los proyectos certificados representan inversiones reportadas por 2,8 billones de pesos y beneficios fiscales de hasta 1,3 billones de pesos.

Barreras identificadas:

- El acceso efectivo al incentivo depende de capacidades técnicas y administrativas para estructurar y tramitar proyectos.
- El incentivo no supera por sí solo los costos de inversión ni los riesgos percibidos por los usuarios.
- Su implementación puede ser más difícil en algunos segmentos, especialmente en usuarios residenciales que no acceden fácilmente de manera directa al beneficio.
- Persisten barreras complementarias de información, capacidades técnicas y reglamentación sectorial.

Plan Estratégico - Diversificación Energética

El Plan Energético Nacional 2025–2055 de Colombia muestra cómo la diversificación energética está directamente relacionada con la transformación económica del país y con la necesidad de avanzar hacia un modelo más sostenible, seguro y resiliente. Colombia ha venido avanzando en el fortalecimiento de una matriz energética más sostenible, diversificada y resiliente. El PEN reconoce que el país enfrenta importantes desafíos relacionados con la dependencia de los combustibles fósiles, la vulnerabilidad frente al cambio climático y las transformaciones del mercado energético global. Por esta razón, la diversificación energética se plantea como una estrategia fundamental para fortalecer la seguridad energética, proteger el medio ambiente y promover un desarrollo económico más competitivo y sostenible en el largo plazo.

En este contexto, el Plan Estratégico de Diversificación mantiene una relación coherente con los objetivos del PEN, ya que busca impulsar una transición gradual hacia fuentes de energía más limpias y reducir progresivamente la dependencia de actividades extractivas tradicionales. La diversificación energética no se limita únicamente a ampliar la generación eléctrica con energías renovables, sino que también implica transformar el modelo productivo del país, fortalecer nuevos sectores económicos, incorporar tecnologías más eficientes y promover combustibles alternativos con menores impactos ambientales.

Dentro de este proceso, Colombia ha desarrollado un marco normativo importante que ha permitido avanzar en la transición energética y en la diversificación de la matriz energética nacional. Una de las normas más relevantes es la Ley 939 de 2004, conocida como la Ley de Biocombustibles, la cual estableció el marco regulatorio para la producción y uso de biocombustibles en el país. Su objetivo principal fue promover el desarrollo de fuentes

alternativas de energía para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y contribuir a la protección del medio ambiente. Esta ley permitió impulsar el desarrollo de cadenas productivas relacionadas con el etanol y el biodiésel, generando nuevas oportunidades para sectores agrícolas e industriales vinculados a energías alternativas.

Posteriormente, la Ley 2099 de 2021 fortaleció el proceso de transición energética al establecer un marco normativo orientado a construir una matriz energética más diversificada, sostenible y menos dependiente de los combustibles fósiles. Esta ley busca promover el uso de fuentes de energía limpias y renovables mediante incentivos, señales habilitantes y mecanismos para superar barreras que históricamente han limitado la diversificación energética. Entre sus principales aportes se encuentra el fortalecimiento de incentivos para proyectos de energías renovables, almacenamiento energético, hidrógeno verde, movilidad eléctrica y eficiencia energética, facilitando así la participación de nuevas tecnologías dentro del sistema energético colombiano.

De igual manera, la Ley 1931 de 2018 estableció un marco normativo orientado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y fortalecer la capacidad de adaptación del país frente a los impactos del cambio climático. Esta normativa reconoce la importancia de avanzar hacia fuentes de energía más sostenibles y de promover medidas que contribuyan a disminuir la dependencia de combustibles fósiles. Asimismo, impulsa instrumentos de planificación climática y territorial que favorecen la transición energética y la incorporación de energías renovables dentro de las estrategias de desarrollo nacional.

A este conjunto normativo se suma la Ley 1844 de 2017, mediante la cual Colombia adoptó oficialmente el Acuerdo de París y asumió compromisos internacionales relacionados con mitigación y adaptación al cambio climático. Esta ley fortalece las bases para avanzar hacia una economía baja en carbono y fomenta la diversificación energética como herramienta fundamental para reducir emisiones y cumplir las metas climáticas del país. Además, promueve acciones relacionadas con eficiencia energética, sostenibilidad y transformación productiva.

Gracias a estos instrumentos normativos y a las políticas impulsadas desde el PEN, Colombia ha mostrado avances importantes en materia de transición energética. Uno de los más destacados ha sido el crecimiento de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), especialmente proyectos solares y eólicos. A través de incentivos tributarios, subastas de energía y nuevas regulaciones, el país ha logrado atraer inversión privada y aumentar gradualmente la participación de energías renovables dentro de la matriz energética nacional.

Otro avance importante ha sido el fortalecimiento institucional y de la planeación energética. Entidades como la UPME y el Ministerio de Minas y Energía han desarrollado estrategias orientadas a integrar sostenibilidad, seguridad energética y desarrollo económico dentro de la planificación energética nacional. Esto ha permitido construir una

visión más clara de largo plazo sobre las necesidades futuras del sistema energético colombiano.

Asimismo, se han impulsado proyectos de expansión de redes de transmisión eléctrica que buscan facilitar la conexión de nuevas fuentes renovables en regiones con alto potencial energético. También algunas empresas han comenzado a implementar medidas de eficiencia energética, electrificación de procesos y estrategias de descarbonización industrial, alineadas con las metas climáticas y energéticas del país.

Otro aspecto relevante ha sido el impulso de nuevos energéticos como el hidrógeno verde y azul. Colombia ha avanzado en la formulación de hojas de ruta, proyectos piloto y alianzas internacionales orientadas a posicionar al país dentro de mercados emergentes de combustibles de bajas emisiones. Esta apuesta representa una oportunidad para diversificar no solo la matriz energética, sino también la estructura productiva y exportadora del país.

Sin embargo, a pesar de estos avances, todavía existen desafíos importantes. Uno de los principales problemas sigue siendo la alta dependencia de los combustibles fósiles dentro de la economía nacional y de sectores como el transporte y parte de la industria. Aunque se han impulsado energías renovables y biocombustibles, el petróleo y el carbón continúan teniendo una participación importante dentro de las exportaciones y del sistema energético colombiano.

Asimismo, el sistema energético nacional sigue siendo vulnerable frente a fenómenos climáticos extremos. La alta dependencia de la generación hidroeléctrica representa un riesgo durante períodos de sequía o fenómenos como El Niño, cuando disminuye la disponibilidad de agua y se hace necesario recurrir nuevamente a generación térmica basada en combustibles fósiles para garantizar el abastecimiento energético.

Otro reto importante corresponde al fortalecimiento de las capacidades tecnológicas e industriales nacionales. Gran parte de los equipos y tecnologías utilizados en proyectos renovables continúan siendo importados, lo que limita la transferencia tecnológica, la generación de empleo industrial y el desarrollo de cadenas productivas nacionales asociadas a la transición energética.

También persisten dificultades relacionadas con infraestructura, licenciamiento ambiental y coordinación institucional. Muchos proyectos energéticos enfrentan retrasos debido a conflictos territoriales, consultas previas, limitaciones regulatorias y problemas de articulación entre entidades nacionales y regionales, afectando la velocidad de implementación de proyectos estratégicos relacionados con la diversificación energética.

En materia de innovación, Colombia todavía presenta bajos niveles de inversión en investigación y desarrollo (I+D+i), así como una limitada articulación entre universidades,

empresas y centros de investigación. Esto dificulta el desarrollo de tecnologías propias y reduce la capacidad del país para consolidar industrias competitivas en sectores energéticos emergentes.

Finalmente, uno de los mayores desafíos sigue siendo garantizar una transición energética justa y equilibrada para las regiones que históricamente han dependido de actividades extractivas como el petróleo, el carbón y la minería. Aunque el PEN y las normas mencionadas reconocen esta necesidad, aún se requieren programas más sólidos de reconversión laboral, fortalecimiento empresarial y diversificación económica regional que permitan reducir los impactos sociales y económicos derivados de la transición energética.

La diversificación energética en Colombia se enfrenta a un panorama de grandes oportunidades y desafíos. Con políticas adecuadas y la inversión necesaria, el país tiene el potencial de transformar su matriz energética, reduciendo la dependencia de fuentes convencionales y promoviendo un modelo más sostenible y diversificado. En ese sentido y en aras de identificar lo fuerte y blando de nuestro actual marco normativo actual, presentamos a continuación el mismo, dentro del contexto del Plan Estratégico de Diversificación Energética y su alineación con el desarrollo energético:

Ley 939 del 2004 - Ley de biocombustibles: Establece el marco regulatorio para la producción y uso de biocombustibles en el país. Su objetivo principal es promover el desarrollo de fuentes alternativas de energía, especialmente para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y contribuir a la protección del medio ambiente.

Señales habilitantes

- Exoneración de impuestos o tarifas para los productores de biocombustibles, especialmente en lo relacionado con el IVA (Impuesto al Valor Agregado) y aranceles sobre la importación de materias primas necesarias para la producción.
- Establecimiento de precios mínimos garantizados para los biocombustibles, incentivando a los productores a invertir en este sector.
- La Ley establece un porcentaje mínimo de mezcla de biocombustibles (como el etanol y el biodiesel) con combustibles fósiles (gasolina y diésel), lo cual asegura una demanda estable para los biocombustibles y facilita su integración en el mercado energético nacional.
- La promoción de la creación de infraestructura adecuada para la producción, distribución y comercialización de biocombustibles, incluyendo el fortalecimiento de plantas de producción y redes de distribución.
- La Ley busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual alinea las políticas de biocombustibles con los compromisos internacionales de Colombia en materia de cambio climático, lo que puede facilitar la obtención de financiamiento y alianzas internacionales.

Barreras identificadas

- La producción de biocombustibles depende en gran medida de la disponibilidad y precios de las materias primas como la caña de azúcar, el aceite de palma y la soya. Las fluctuaciones en los precios internacionales de estas materias primas pueden generar inestabilidad en la producción y oferta de biocombustibles.
- Aunque se han realizado avances, las tecnologías de producción de biocombustibles en Colombia aún no son completamente competitivas en comparación con otras fuentes de energía. Las inversiones en investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia de la producción son limitadas.
- La expansión de la producción de biocombustibles puede generar conflictos con la seguridad alimentaria, ya que los cultivos destinados a este fin pueden competir con la producción de alimentos. Además, el cambio de uso de tierras para cultivos de biocombustibles podría tener impactos ambientales negativos, como la deforestación.

CONPES 3510 - Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia: Es un documento de política pública adoptado por el Gobierno de Colombia para promover la producción sostenible de biocombustibles en el país. Este documento establece las bases para un desarrollo más eficiente, sostenible y seguro de los biocombustibles, alineándose con los objetivos ambientales, sociales y económicos del país. En este contexto, el CONPES 3510 señala tanto habilitantes como barreras en el proceso de promoción de biocombustibles:

Señales habilitantes

- Promueve la creación de un marco normativo adecuado que facilite la producción y comercialización de biocombustibles. Se busca fortalecer la infraestructura legal para fomentar la inversión, el desarrollo y la adopción de tecnologías sostenibles.
- Fomenta la integración de los biocombustibles con la industria del transporte y la industria energética, con el fin de asegurar la estabilidad y la previsibilidad del mercado.
- Se proponen mecanismos de compensación y apoyo financiero para mejorar la competitividad del sector.
- El CONPES 3510 destaca la importancia de investigar y desarrollar nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de la producción de biocombustibles y reducir costos, así como promover el uso de materias primas alternativas.

Barreras identificadas

- Costos en la producción de Biocombustibles.
- Precios Volátiles de las materias primas
- Barreras sociales y ambientales, las comunidades rurales a menudo carecen de los conocimientos o la infraestructura necesaria para acceder y beneficiarse de la producción de biocombustibles.

- Falta de acceso a tecnologías avanzadas.

Ley 1715 del 2014 - Ley de Energías Renovables: Esta ley establece un marco normativo y de incentivos para el desarrollo y uso de energías limpias, con énfasis en la generación de electricidad a partir de fuentes como la solar, eólica, biomasa, geotérmica, y energía de los mares. A continuación, se detallan las señales habilitantes y las barreras identificadas relacionadas con la diversificación energética en Colombia en el marco de esta ley:

Señales habilitantes

- Establece varios beneficios fiscales para promover la inversión en energías renovables. Entre estos beneficios se incluyen exenciones y descuentos en impuestos como el Impuesto sobre la Renta y el IVA para proyectos de energías renovables. Esto reduce el costo inicial de inversión, facilitando el desarrollo de proyectos en este sector.
- Se habilitan mecanismos de financiación y garantías tanto a nivel público como privado, lo que fomenta la inversión en proyectos de energías renovables. Esto incluye la creación de fondos y programas específicos, como el Fondo de Energías No Convencionales, para apoyar financieramente a los proyectos de energías renovables.
- Se crea la obligación de incorporar energías renovables en la matriz energética nacional, estableciendo metas claras para el sector. Esto genera una señal de mercado que promueve la inversión y la generación de energía a partir de fuentes renovables, impulsando la diversificación energética en el país.

Barreras Identificadas

- Uno de los principales obstáculos para la diversificación energética es la falta de infraestructura adecuada para transportar la energía generada a partir de fuentes renovables a las zonas de consumo. Muchas de las fuentes renovables, como la solar y eólica, están ubicadas en áreas alejadas de los centros urbanos, lo que exige fuertes inversiones en infraestructura de transmisión y distribución.
- Costos en los proyectos, aunque existen incentivos fiscales, los costos iniciales para la instalación de sistemas de energía renovable continúan siendo elevados, especialmente para proyectos de gran magnitud. Esto es una barrera para empresas y particulares que desean invertir en energías renovables.
- Las energías renovables se enfrentan a la competencia con las fuentes tradicionales, como las hidroeléctricas, que aunque son renovables, dependen de factores naturales que no siempre garantizan la estabilidad de la oferta. Además, las fuentes fósiles como el carbón y el gas siguen teniendo un papel dominante debido a su bajo costo de inversión y operación a corto plazo.

Ley 1844 del 2017 - Adopción del Acuerdo de París: Tiene como objetivo principal comprometer a Colombia con los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático, cumpliendo con los lineamientos establecidos en dicho acuerdo. Esta ley no solo promueve acciones de adaptación y mitigación frente al cambio climático, sino que también establece

las bases para la transición hacia una economía baja en carbono y fomenta la diversificación energética en el país.

Señales habilitantes

- Establece que Colombia debe trabajar para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que implica la necesidad de cambiar el modelo energético tradicional basado en fuentes fósiles hacia fuentes renovables y bajas en carbono. Esto abre un panorama favorable para la diversificación de las fuentes de energía, con un énfasis en energías renovables no convencionales como la solar, eólica, geotérmica, entre otras.
- Abre las puertas a la cooperación internacional y a la implementación de mecanismos financieros para la transición energética. Esto incluye el acceso a fondos climáticos y a tecnologías avanzadas que pueden acelerar el proceso de diversificación energética en el país.
- Impulsa el desarrollo de políticas públicas y programas que promuevan una economía baja en carbono. Esto impulsa la inversión en nuevas fuentes de energía y en la mejora de la eficiencia energética, lo cual es fundamental para la diversificación.

Barreras identificadas

- Aunque Colombia tiene un potencial significativo para las energías renovables, la infraestructura actual no está completamente preparada para integrar grandes volúmenes de estas fuentes en la red nacional. La adaptación de la infraestructura energética requiere inversiones significativas.
- Si bien existen mecanismos de financiamiento internacional, las empresas nacionales y locales pueden enfrentar dificultades para acceder a capital suficiente para desarrollar proyectos de energías renovables. Los altos costos iniciales y la falta de acceso a fondos adecuados pueden ser una barrera importante.
- Las tarifas de energía, las políticas fiscales y los subsidios siguen favoreciendo en gran medida los combustibles fósiles.

Ley 1931 del 2018 - Ley de cambio climático: Establece un marco normativo orientado a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y a la adaptación del país frente a los impactos del cambio climático. En cuanto a la diversificación energética, esta ley tiene tanto señales habilitantes como barreras para promover un cambio hacia fuentes de energía más sostenibles:

Señales habilitantes

- Establece compromisos de reducción de emisiones de GEI para diferentes sectores de la economía, lo cual impulsa la diversificación de la matriz energética al promover tecnologías más limpias. La diversificación energética es vista como una estrategia clave para reducir la huella de carbono del sector energético.

- Apoya explícitamente el impulso a la energía renovable como parte de las estrategias de mitigación del cambio climático. Esto incluye la promoción de incentivos para la inversión en proyectos de energías renovables no convencionales.
- Establece mecanismos financieros para proyectos que busquen la transición hacia energías más limpias, lo cual puede ser aprovechado para diversificar la matriz energética.

Barreras Identificadas

- Desarrollar infraestructura para fuentes de energía renovables no convencionales requiere de importantes inversiones en redes de transmisión y distribución, y en Colombia esto aún es un reto.
- El desarrollo tecnológico local en áreas como la solar, eólica y biomasa aún es limitado. Esto dificulta la competitividad y el acceso a tecnologías más eficientes que podrían acelerar la diversificación energética.

Ley 2099 del 2021 - Ley de Transición Energética: Establece un marco normativo para avanzar hacia una matriz energética más diversificada, sostenible y menos dependiente de los combustibles fósiles. Esta ley tiene como objetivo promover la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables, a través de diversas señales habilitantes y la superación de barreras para la diversificación energética. A continuación, se destacan tanto las señales habilitantes como las barreras que la ley establece:

Señales Habilitantes

- La Ley establece un marco legal para el desarrollo y la integración de las energías renovables no convencionales como la solar, eólica, geotérmica, biomasa, entre otras.
- Se incentiva la inversión en proyectos de energía renovable.
- La Ley promueve la generación distribuida o la energía generada a pequeña escala, lo que permite a los usuarios generar su propia energía a partir de fuentes renovables.
- Incentivos fiscales y financieros, como exenciones y deducciones en impuestos, a los proyectos de energía renovable.
- La Ley está alineada con los compromisos internacionales de Colombia en materia de cambio climático, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esto crea un marco de certeza política para los inversionistas en energía renovable y genera confianza en la diversificación energética.

Barreras Identificadas

- En relación con los procesos administrativos, como trámites y licencias para proyectos de energía renovable siguen siendo dispendiosos y en ocasiones lentos, lo que retrasa la ejecución de proyectos.

- Aunque se promueven redes inteligentes, el país todavía enfrenta desafíos significativos en el desarrollo de infraestructura de almacenamiento adecuada, como baterías o sistemas de almacenamiento de energía.
- Los actores tradicionales del sector energético, como las empresas de generación a partir de combustibles fósiles, pueden ver la transición hacia energías renovables como una amenaza y ejercer resistencia política o económica.

Plan Estratégico - Movilidad Sostenible

En Colombia, la movilidad sostenible constituye una de las palancas más relevantes de la transición energética justa, dado que el sector transporte concentra una alta participación del consumo final de energía y representa el principal frente de descarbonización dentro del sistema energético. El análisis regulatorio del PEN señala que el transporte aporta entre el **58% y el 66%** de las emisiones del sistema energético en los escenarios analizados, razón por la cual la transformación del sector depende de la electrificación del transporte carretero, del fortalecimiento del transporte público, del desarrollo del combustible sostenible de aviación (SAF) y, de manera complementaria, del uso de tecnologías como el hidrógeno en segmentos de difícil electrificación.

El marco normativo vigente del plan estratégico de movilidad sostenible ya incorpora instrumentos relevantes. Entre ellos se encuentra la **Ley 1964 de 2019**, cuyo objeto es promover el uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones para contribuir a la movilidad sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero. A esta se suma la **Ley 2099 de 2021**, que fortalece la transición energética mediante incentivos a tecnologías limpias, expansión de infraestructura y modernización del sistema energético, con efectos directos sobre la adopción de vehículos eléctricos y la electrificación del transporte público. La movilidad sostenible en Colombia es un tema de creciente relevancia debido a los desafíos ambientales, sociales y económicos que enfrenta el país en términos de movilidad y urbanización. El marco normativo que regula este aspecto busca promover alternativas de transporte que sean ambientalmente responsables, socialmente inclusivas y económicamente viables. A través de diversas leyes, políticas y regulaciones, Colombia ha adoptado un enfoque integral para garantizar que el desarrollo de su infraestructura de transporte sea compatible con los objetivos de sostenibilidad, reducción de emisiones y mejora de la calidad de vida de sus ciudadanos.

Este marco normativo no solo establece las bases para una movilidad sostenible, sino que también busca responder a la necesidad urgente de mitigar el impacto ambiental del transporte en Colombia, mejorar la accesibilidad para todos los ciudadanos, y promover un desarrollo urbano más equilibrado y menos dependiente de los combustibles fósiles, especialmente de los líquidos, como la gasolina y el diésel.

Entre las principales normativas en Colombia se encuentran la Ley 1753 de 2015 (Plan Nacional de Desarrollo), la Ley 1844 de 2017 (Ley de Movilidad Eléctrica) y la Ley 2161 de 2021, que busca promover el uso de vehículos eléctricos y otras medidas que contribuyan a una movilidad más limpia. Además, ciudades como Bogotá han impulsado normativas propias para mejorar la movilidad urbana sostenible, como el Plan de Movilidad Sostenible,

que incluye estrategias para promover el uso del transporte público y la infraestructura para bicicletas.

Actualmente, el marco normativo colombiano para la movilidad sostenible está principalmente estructurado en torno a:

Ley 1715 de 2014: Esta ley establece un marco regulatorio para fomentar el uso de fuentes de energía renovable, incluyendo la energía solar, eólica, biomasa, entre otras, en el país. Aunque la ley se centra principalmente en la promoción de energías renovables, también tiene implicaciones sobre la movilidad sostenible, especialmente en relación con la promoción de vehículos eléctricos y tecnologías limpias.

Señales habilitantes

- La ley promueve la adopción de vehículos eléctricos y otras tecnologías limpias al incluir incentivos fiscales y exenciones. Por ejemplo, se han establecido beneficios como exoneraciones de impuestos de rodamiento y beneficios aduaneros, lo que facilita el acceso a vehículos más eficientes y sostenibles.
- La promoción de vehículos eléctricos contribuye a la reducción de las emisiones contaminantes provenientes del transporte, lo que mejora la calidad del aire en las ciudades y mitiga los efectos del cambio climático.
- La ley también apoya el desarrollo de infraestructura de recarga para vehículos eléctricos, lo que mejora la viabilidad de estos vehículos, especialmente en zonas urbanas donde la infraestructura de recarga es esencial para su adopción masiva.
- La ley busca integrar el uso de energías renovables (solar, eólica) al sistema energético nacional, lo que puede facilitar la creación de redes inteligentes para la recarga de vehículos eléctricos utilizando fuentes limpias, promoviendo la descarbonización del transporte.

Barreras identificadas

- A pesar de los incentivos, la infraestructura de carga eléctrica sigue siendo insuficiente en muchas zonas del país, lo que limita la adopción de vehículos eléctricos. La escasa red de estaciones de carga es una barrera importante, especialmente en áreas rurales.
- Aunque la Ley 1715 promueve la movilidad sostenible a nivel nacional, su implementación depende también de políticas locales y regionales que fomenten el uso de vehículos eléctricos, como la creación de carriles exclusivos o incentivos locales. Si no existen políticas locales complementarias, la ley no tiene el impacto que busca.

Ley 1964 del 2019: La presente Ley tiene por objeto generar esquemas de promoción al uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones, con el fin de contribuir a la movilidad sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero.

Señales habilitantes

- Descuentos sobre el registro o impuesto vehicular, tarifas diferenciadas de parqueaderos o exenciones tributarias.
- Los vehículos eléctricos y de cero emisiones estarán exentos de las medidas de restricción a la circulación vehicular en cualquiera de sus modalidades que la autoridad de tránsito local disponga (pico y placa, día sin carro, restricciones por materia ambiental, entre otros), excluyendo aquellas que se establezcan por razones de seguridad.

Barreras identificadas

- La red de estaciones de recarga sigue siendo insuficiente en muchas áreas del país, especialmente en zonas rurales y periféricas. La falta de estaciones de carga puede generar incertidumbre en la decisión de compra de los vehículos eléctricos, desincentivando su adopción.
- Dentro de la Ley no se contempla de manera amplia la gestión de residuos de baterías. Esto representa una barrera para garantizar que el impacto ambiental de las baterías usadas se gestione de manera sostenible.
- El uso masivo de vehículos eléctricos podría generar presiones adicionales sobre la red eléctrica, especialmente si no se toman medidas para garantizar la capacidad de suministro y el manejo de la demanda de electricidad, lo que podría generar problemas de estabilidad y costo.

Ley 2099 del 2021 - Ley de Transición Energética: Esta ley tiene como objetivo acelerar la transición hacia una matriz energética más sostenible, fomentando el uso de energías renovables, la eficiencia energética y la modernización del sistema energético nacional. Establece incentivos para la inversión en tecnologías limpias y renovables.

Señales habilitantes

- En materia de movilidad sostenible, esta ley tiene aspectos habilitantes y barreras que impactan el sector del transporte, específicamente en lo que respecta a la adopción de tecnologías más limpias y la eficiencia energética.
- La Ley de Transición Energética establece un marco normativo que promueve el uso de vehículos eléctricos, tanto para el transporte público como privado. Esto incluye incentivos fiscales y tributarios, como la exoneración de impuestos de importación para vehículos eléctricos y sus componentes, lo que reduce el costo de adquisición y hace más accesible la tecnología.
- La ley contempla la expansión de la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos. Se fomenta la creación de estaciones de carga tanto en espacios públicos como privados, lo cual es un paso fundamental para garantizar la viabilidad de los vehículos eléctricos a gran escala.
- Se promueve la electrificación del transporte público urbano y rural. Esto incluye subsidios, programas de financiamiento y mecanismos de apoyo a las entidades encargadas del transporte público para que puedan adquirir flotas eléctricas o híbridas.

- Se incentiva la innovación tecnológica en el sector del transporte, con recursos y programas de apoyo a la investigación y el desarrollo de nuevas soluciones para una movilidad más sostenible, como los vehículos autónomos o las nuevas tecnologías de baterías.
- La electrificación del transporte es la principal estrategia de descarbonización del sector y que, en el escenario de políticas declaradas, ya existe una trayectoria asociada al crecimiento de vehículos eléctricos livianos y buses urbanos, incluyendo la meta de **600 mil vehículos eléctricos hacia 2030**.
- De igual manera, el PEN también identifica que el transporte **público** tiene ventajas, frente al transporte individual y lo posiciona como uno de los instrumentos más importantes para reducir emisiones y consumo energético, esto en línea con la hoja de ruta de Transición energética justa que prioriza la movilidad sostenible, cambio modal y ciudades inteligentes.

Barreras identificadas

- A pesar de los incentivos, el costo inicial de los vehículos eléctricos sigue siendo elevado en comparación con los vehículos convencionales de combustión interna. Aunque la ley promueve la reducción de impuestos, el precio sigue siendo una barrera significativa para el acceso masivo.
- La oferta es limitada en ciertos segmentos del mercado, como vehículos eléctricos pesados para transporte de carga o para zonas rurales, lo cual limita la adopción en sectores clave de la economía.

Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (ENTS): En este documento se establecen acciones que buscan habilitar el ascenso tecnológico en el transporte, con el fin de contribuir en la mejora de la eficiencia del sector, la mitigación de emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero (GEI).

Señales habilitantes

- Señala lineamientos habilitantes para que se dé la transición energética en los modos carretero, férreo y fluvial, contemplando tecnologías eléctricas - BEV, con celda de combustible – FCEV, gas, híbridos – MHEV, HEV y PHEV, y los de combustión convencional de estándares Euro 6 o superiores. El objetivo es que contribuya en el cumplimiento de la meta de 600.000 vehículos eléctricos a 2030.
- Esta estrategia cuenta con señales habilitantes como incentivos fiscales, el desarrollo de tecnologías limpias, y el creciente apoyo de la ciudadanía y las empresas hacia formas de transporte más sostenibles.

Barreras identificadas

- La infraestructura para apoyar una movilidad sostenible, como redes de transporte público eficientes, estaciones de carga para vehículos eléctricos, y carriles exclusivos para bicicletas, casi siempre no están suficientemente desarrolladas, lo que limita la adopción de soluciones sostenibles. lo anterior quiere decir que, la red de estaciones de carga sigue siendo insuficiente en varias zonas del país, en

consecuencia desincentiva la adopción de vehículos eléctricos y limita la viabilidad de una electrificación más acelerada. Esta insuficiencia es una barrera relevante.

- La electrificación del transporte no enfrenta solo barreras tecnológicas, sino regulatorias institucionales y financieras. Las políticas públicas de transporte habitualmente están sujetas a cambios con los ciclos políticos. Esto puede llevar a que las estrategias de largo plazo no sean sostenibles si los nuevos gobiernos no continúan o apoyan las iniciativas previas.
- En algunas regiones, especialmente en áreas rurales o de bajos ingresos, el acceso a opciones de transporte sostenible como vehículos eléctricos, transporte público de calidad o infraestructuras para bicicletas es limitado.

Plan Estratégico - Infraestructura Energética

El plan energético plantea que el país necesita fortalecer y actualizar su infraestructura para responder a los nuevos desafíos energéticos, ambientales y económicos que surgen con el crecimiento de las energías renovables, la electrificación de diferentes sectores y los compromisos internacionales frente al cambio climático. En este sentido, el Plan Estratégico de Infraestructura se encuentra alineado con la visión del PEN, ya que propone fortalecer redes eléctricas, sistemas de transmisión, infraestructura de carga para movilidad eléctrica, almacenamiento energético y nuevas tecnologías que permitan soportar una matriz energética más limpia, moderna y diversificada. Más allá de atender el aumento de la demanda energética, el objetivo es construir un sistema más seguro, flexible y preparado para integrar nuevas fuentes renovables, reduciendo además riesgos asociados a fenómenos climáticos o fallas operativas.

Uno de los temas más relevantes dentro del análisis es la necesidad de modernizar las redes de transmisión y distribución eléctrica. El PEN reconoce que el crecimiento de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), especialmente la energía solar y eólica, exige ampliar significativamente la infraestructura energética del país para conectar nuevos proyectos ubicados en zonas con alto potencial energético. Por ello, el Plan Estratégico de Infraestructura destaca la importancia de desarrollar redes más robustas, digitalizadas y eficientes que permitan integrar estas energías de manera estable y garantizar la confiabilidad del Sistema Interconectado Nacional.

Este proceso también ha sido respaldado por diferentes instrumentos regulatorios que buscan acelerar la transición energética en Colombia. Entre ellos sobresale la Ley 2099 de 2021, la cual fortalece el marco normativo para promover energías renovables, eficiencia energética y modernización del sistema energético nacional. Esta ley ha permitido generar incentivos para atraer inversión en tecnologías limpias y facilitar el desarrollo de infraestructura necesaria para integrar nuevas fuentes de generación y avanzar hacia una economía más sostenible.

Otro aspecto clave del análisis está relacionado con la movilidad sostenible y la infraestructura necesaria para el transporte eléctrico. El PEN identifica al sector transporte como uno de los principales retos para la descarbonización del país debido a su alta dependencia de combustibles fósiles. Frente a esto, la Ley 1964 de 2019 se convierte en una herramienta importante, ya que promueve el uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones mediante incentivos y beneficios orientados a reducir la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta normativa también impulsa el fortalecimiento de infraestructura de carga eléctrica como parte fundamental del proceso de transición hacia una movilidad más sostenible.

Complementando este marco regulatorio, la Resolución 40223 de 2021 estableció condiciones técnicas y de mercado para la implementación de infraestructura de carga para vehículos eléctricos e híbridos enchufables. Esta regulación ha sido importante porque permite avanzar en la estandarización de estaciones de carga, mejorar la interoperabilidad entre sistemas y generar mayor confianza tanto para usuarios como para inversionistas interesados en el desarrollo de la movilidad eléctrica en Colombia.

En cuanto a los avances alcanzados, el país ha mostrado progresos importantes en modernización y expansión de infraestructura energética. Se han impulsado proyectos estratégicos de transmisión eléctrica orientados a facilitar la integración de nuevas fuentes renovables, especialmente en regiones con alto potencial solar y eólico. De igual manera, entidades como la UPME y el Ministerio de Minas y Energía han fortalecido los procesos de planeación energética, construyendo una visión más integrada entre infraestructura, sostenibilidad y seguridad energética.

También se evidencian avances en el crecimiento de infraestructura de carga para vehículos eléctricos. Aunque la cobertura todavía es limitada, el país ha comenzado a ampliar estaciones de carga en ciudades principales y corredores estratégicos, lo que representa un paso importante para fortalecer la movilidad eléctrica y avanzar en la electrificación del transporte.

Además, algunas empresas del sector energético han iniciado procesos de digitalización y modernización tecnológica mediante la implementación de redes inteligentes, sistemas de monitoreo y herramientas de gestión energética que contribuyen a mejorar la eficiencia operativa y la confiabilidad del servicio. Paralelamente, se han desarrollado proyectos piloto relacionados con almacenamiento energético y nuevas tecnologías orientadas a aumentar la flexibilidad del sistema eléctrico nacional.

Sin embargo, a pesar de estos avances, todavía persisten desafíos importantes. Uno de los principales problemas continúa siendo la limitada capacidad de transmisión y conexión eléctrica en algunas regiones del país, especialmente en zonas alejadas o con alto potencial para proyectos renovables. Muchos proyectos enfrentan retrasos debido a falta de infraestructura, problemas de conexión y demoras en la ejecución de obras estratégicas.

Asimismo, siguen existiendo dificultades relacionadas con licenciamiento ambiental, consultas previas, conflictos territoriales y falta de coordinación institucional. Estas situaciones generan retrasos en la implementación de proyectos energéticos y aumentan la incertidumbre para inversionistas y comunidades.

Otro reto importante es acelerar la expansión de infraestructura de carga para vehículos eléctricos. Aunque el país ya cuenta con avances regulatorios importantes, la cobertura actual aún no es suficiente frente al crecimiento esperado de la movilidad eléctrica. Esto implica la necesidad de fortalecer redes eléctricas urbanas y regionales, aumentar la inversión en estaciones de carga y mejorar la interoperabilidad tecnológica.

Un marco regulatorio actualizado y flexible es clave para facilitar la innovación, la integración de nuevas tecnologías y modelos de negocio, y la creación de señales económicas que impulsen esta transición. Al mismo tiempo, deben priorizarse criterios de inclusión social, como la aceptación de nuevas tecnologías, la generación de empleo local en proyectos de infraestructura, y la reconversión laboral hacia sectores alineados con una transición energética justa (TEJ). Actualmente, el marco normativo colombiano para la infraestructura energética está principalmente estructurado en torno a:

Ley 1964 de 2019: La presente Ley tiene por objeto generar esquemas de promoción al uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones, con el fin de contribuir a la movilidad sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero.

Señales habilitantes

- Promueve que las entidades territoriales garanticen la construcción de la infraestructura de estaciones de carga rápida en condiciones funcionales.
- Dispone que las autoridades de planeación de reglamenten los lineamientos técnicos necesarios para garantizar que los edificios de uso residencial y comercial, cuenten con una acometida de electricidad para carga o el repostaje de vehículos eléctricos.

Barreras identificadas

- Las señales habilitantes anteriores no son de carácter obligatorio y están sujetas a la demanda de vehículos eléctricos, dejando de manera voluntaria el cumplimiento, lo que constituye una barrera importante para la reconversión de los vehículos eléctricos en el territorio nacional.
- Alta dependencia de subsidios y apoyo del gobierno nacional y sector privado para el financiamiento de la infraestructura.

Ley 2099 del 2021: Esta ley tiene como objetivo acelerar la transición hacia una matriz energética más sostenible, fomentando el uso de energías renovables, la eficiencia energética y la modernización del sistema energético nacional. Establece incentivos para la inversión en tecnologías limpias y renovables.

Señales habilitantes

- Se incorporan medidas y acciones para la racionalización de trámites en la ejecución de proyectos de infraestructura para la prestación del servicio público de energía eléctrica (Arango, 2021):
 - Se prioriza el licenciamiento ambiental para proyectos de energía y gas para que su entrada en operación garantice seguridad, confiabilidad y eficiencia para atender las necesidades del sistema.
 - En servidumbres eléctricas, se permite al juez autorizar ingreso y obras en predios sin inspección judicial previa, garantizado por autoridades policivas.
 - Propietarios o poseedores pueden firmar acuerdos voluntarios para iniciar obras de conducción eléctrica, mientras continúa el proceso de adquisición o servidumbre requerido.
- Se establece la aplicación extensiva de algunos artículos del Ley 1682 de 2013 a las obras o proyectos de construcción, desarrollo, mantenimiento, rehabilitación o mejora de infraestructura de energía eléctrica, con el propósito de garantizar la continuidad en la prestación del servicio de energía eléctrica y de dar agilidad a la ejecución y desarrollo de dichos proyectos de infraestructura declarados de utilidad pública e interés social (Arango, 2021).
- Esta Ley promueve nuevas tecnologías, entre estas, la generación de hidrógeno verde y de hidrógeno azul; y la captura, uso y secuestro de carbono (CCUS). Trae consigo beneficios económicos para el desarrollo de esta tecnología, ya que se aumenta la cobertura de los incentivos y disminuye la presión fiscal a las empresas desarrolladoras de proyectos. Dentro de los beneficios descritos se encuentran aquellos mencionados establecidos mediante la Ley 1715 del 2014.

Barreras identificadas

- Aunque se promueven los incentivos fiscales, no aborda directamente mecanismos de financiación robustos para grandes proyectos de infraestructura, lo que puede limitar su implementación.
- Se dictan disposiciones para el uso de energías renovables, la eficiencia energética y la modernización del sistema energético nacional; pero no hay una línea sobre nuevas tecnologías como hidrógeno, captura de carbono, bioenergía, entre otros.

Decreto 2236 del 2023: El presente decreto busca reglamentar parcialmente las comunidades energéticas en el marco de la Transición Energética Justa.

Señales habilitantes

- Fomento y promoción de las comunidades energéticas, la autogeneración y generación distribuida colectiva, así como lineamientos para el uso de excedentes energéticos y la conexión a sistemas de distribución local.
- Establece definiciones y marcos para actividades como autogeneración colectiva (AGRC) y generación distribuida colectiva (GDC), promoviendo la participación activa de comunidades locales en la producción de energía sostenible.

- Establece las pautas para la administración de los recursos destinados a las comunidades energéticas, pudiendo éstas acceder a recursos públicos para financiar proyectos de inversión, operación y mantenimiento de infraestructura.

Barreras identificadas

- El decreto depende de normas específicas que aún no se han emitido, lo que puede generar incertidumbre operativa.
- Los costos de toda la vida útil del proyecto y la baja claridad de los mecanismos financieros para establecer comunidades energéticas pueden desincentivar la participación de comunidades con recursos limitados, así mismo, limitar la sostenibilidad de los proyectos.

Resolución 40223 de 2021: Por medio de la cual se establecen condiciones mínimas de estandarización y de mercado para la implementación de infraestructura de carga para vehículos eléctricos e híbridos enchufables.

Señales habilitantes

- Obliga a cumplir con requisitos específicos como los conectores estándar (J 1772 y CCS), promoviendo uniformidad y compatibilidad entre las estaciones de recarga.
- Establece nuevos esquemas y tratamiento sobre señales de tarifa horaria, respuesta de la demanda y cualquier otro, para una participación activa de usuarios con vehículos eléctricos.

Barreras identificadas

- La obligación de usar conectores específicos puede limitar la adaptación a nuevas tecnologías, ralentizando la innovación en el sector.
- No se establecen medidas claras para involucrar más activamente a empresas privadas en el desarrollo de estaciones, limitando la velocidad de expansión de la red.

Plan Estratégico - Industrialización

En materia de industrialización el Plan Energético Nacional, muestra una relación clara entre la transición energética y la necesidad de fortalecer la industria nacional. El PEN propone una visión de largo plazo en la que la transición hacia energías más limpias no solo busca reducir emisiones y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, sino también aprovechar este proceso como una oportunidad para transformar la economía del país, generar empleo y promover un desarrollo más sostenible.

En este sentido, el Plan Estratégico de Industrialización guarda coherencia con los objetivos del PEN, ya que reconoce que la transición energética debe ir más allá del simple cambio de fuentes de energía. El documento plantea que este proceso también debe servir para fortalecer la producción nacional, impulsar nuevos sectores económicos y mejorar la

competitividad del país. Por ello, se da importancia al desarrollo de industrias relacionadas con tecnologías energéticas, infraestructura eléctrica, combustibles de bajas emisiones, economía circular y aprovechamiento de las cadenas minero-energéticas.

Uno de los puntos más importantes del análisis es el papel que se le da al fortalecimiento de las capacidades industriales nacionales. El PEN considera que la transición energética puede convertirse en un motor de crecimiento económico si Colombia logra desarrollar capacidades propias para fabricar, ensamblar y mantener infraestructura energética. Por esta razón, el Plan Estratégico propone consolidar cadenas productivas asociadas a energías renovables, almacenamiento energético, hidrógeno de bajas emisiones y modernización de redes eléctricas. Esto resulta clave para disminuir la dependencia tecnológica del exterior y aumentar la soberanía energética del país.

Además, el documento se encuentra alineado con los principios de seguridad energética y resiliencia económica planteados por el PEN. La diversificación de la matriz energética y el fortalecimiento industrial son vistos como herramientas para reducir riesgos económicos y mejorar la estabilidad del sistema energético nacional. Igualmente, el enfoque territorial presente en el PEN se refleja en la intención de apoyar procesos de reconversión productiva en regiones históricamente dependientes de actividades como la minería y los hidrocarburos. Esto demuestra que la transición energética no debe entenderse únicamente desde lo ambiental, sino también desde sus impactos sociales y económicos.

En cuanto a los avances alcanzados por Colombia, se evidencian progresos importantes en materia de transición energética y fortalecimiento institucional. Uno de los avances más visibles ha sido el crecimiento de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), especialmente proyectos solares y eólicos. Gracias a incentivos tributarios, subastas de energía y nuevas regulaciones, el país ha logrado atraer inversiones y aumentar la participación de energías limpias en la matriz energética. Esto también ha generado nuevas oportunidades económicas relacionadas con la construcción, operación y mantenimiento de infraestructura energética.

Otro avance importante es el posicionamiento del hidrógeno verde y azul como nuevas apuestas energéticas e industriales para el país. Colombia ha desarrollado hojas de ruta y proyectos piloto que buscan atraer inversión y cooperación internacional en este sector. La meta es que el país pueda competir en mercados emergentes de combustibles de bajas emisiones y fortalecer nuevas cadenas productivas asociadas a la innovación y la sostenibilidad.

También se han presentado avances en infraestructura energética y planeación sectorial. Se han impulsado proyectos de expansión de redes de transmisión eléctrica para facilitar la integración de energías renovables, especialmente en regiones con gran potencial energético. Asimismo, entidades como la UPME y el Ministerio de Minas y Energía han fortalecido procesos de planeación energética y territorial, buscando una mayor integración

entre sostenibilidad, seguridad energética y desarrollo económico. De igual manera, algunas empresas han comenzado a implementar medidas de eficiencia energética, electrificación de procesos y descarbonización industrial.

Otro aspecto positivo es que el concepto de transición energética justa ha comenzado a ganar relevancia dentro de las políticas públicas y la planeación sectorial. El PEN reconoce la importancia de proteger a las regiones y comunidades que dependen económicamente de actividades extractivas, promoviendo alternativas productivas y oportunidades de reconversión económica. Esto representa un cambio importante frente a enfoques tradicionales centrados únicamente en el crecimiento económico.

Sin embargo, a pesar de estos avances, todavía existen varios desafíos que dificultan la consolidación de una estrategia integral de industrialización energética en Colombia. Uno de los principales problemas es la limitada capacidad tecnológica e industrial del país. Aunque se han instalado más proyectos renovables, gran parte de los equipos y tecnologías utilizados siguen siendo importados. Esto limita la generación de empleo, transferencia tecnológica y desarrollo industrial local.

Otro reto importante está relacionado con la transición justa y la reconversión laboral. Muchas regiones que dependen de actividades como el carbón, la minería y los hidrocarburos todavía enfrentan incertidumbre frente a los cambios económicos que implica la transición energética. Aunque el PEN plantea la necesidad de proteger el empleo y promover nuevas oportunidades productivas, aún hacen falta programas más sólidos de capacitación, fortalecimiento empresarial y diversificación económica regional.

Asimismo, persisten dificultades relacionadas con infraestructura, licenciamiento ambiental y coordinación institucional. Varios proyectos energéticos enfrentan retrasos por conflictos territoriales, consultas previas, limitaciones regulatorias y problemas de conexión eléctrica. Estas barreras afectan tanto el desarrollo de energías renovables como la expansión industrial asociada.

En materia de innovación, Colombia todavía tiene bajos niveles de inversión en investigación y desarrollo. Además, la relación entre universidades, empresas y centros de investigación sigue siendo limitada, lo que dificulta el desarrollo de tecnologías propias y la consolidación de industrias especializadas en energías limpias y manufactura avanzada.

A continuación, se identifican barreras y señales positivas relacionadas con las normas mencionadas, en el contexto del Plan Estratégico de Industrialización y su alineación con el desarrollo energético:

CONPES 3866 de 2016 - Política Nacional de Desarrollo Productivo

Señales habilitantes

- Promueve el desarrollo de clusters productivos para generar competitividad en regiones con alto potencial económico.
- Establece fondos para proyectos de innovación que conecten universidades, centros de investigación y empresas.
- Impulsa programas de apoyo a empresas para acceder a mercados internacionales, especialmente en sectores no tradicionales.
- Destina recursos para mejorar el acceso a financiamiento y capacitación de pequeñas y medianas empresas.

Barreras identificadas

- Los mecanismos de articulación interinstitucional no siempre operan de manera eficiente, generando duplicidades y conflictos de competencias.
- Poca adaptación a las particularidades económicas y culturales de las regiones, lo que dificulta su implementación local.
- Se han implementado varios pilotos y programas de extensión tecnológica. Sin embargo, siguen teniendo una escala pequeña, y es necesario mejorar su gestión e implementación.
- El enfoque de los sectores productivos del país puede dejar de lado a otros con potencial emergente.

Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)**Señales habilitantes**

- Introduce lineamientos específicos para la gestión de residuos, el ecodiseño y el aprovechamiento de materiales.
- Incentiva la creación de líneas de crédito específicas para proyectos circulares, en colaboración con entidades financieras.
- Promueve la adopción de tecnologías limpias y procesos sostenibles en sectores clave como la construcción, agricultura y manufactura.
- Incluye actores de la industria, academia, gobierno y sociedad civil para asegurar una implementación integral.

Barreras identificadas

- Existen regulaciones ambientales y sanitarias que limitan la reutilización de ciertos materiales (por ejemplo, residuos orgánicos para compostaje).

- Los beneficios tributarios para empresas que adoptan prácticas circulares no son suficientemente atractivos o claros.
- Carencia de plantas de reciclaje, logística inversa y tecnologías avanzadas para cerrar ciclos productivos en zonas rurales.
- Falta de programas de sensibilización y formación para trabajadores y empresarios sobre el valor económico de la circularidad.

CONPES 4129 de 2023 - Política Nacional de Reindustrialización

Señales habilitantes

- Surge como un instrumento integral que involucra un proceso de concertación entre diversos actores del sector público y privado, la academia y la sociedad civil, así como la participación de distintos ministerios acompañados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).
- Permite identificar prioridades, mecanismos de gestión y necesidades de articulación interinstitucional para avanzar hacia esa transformación de los sistemas de producción y consumo.

Barreras identificadas

- La falta de articulación entre las entidades responsables (ministerios, agencias territoriales y sectoriales) puede generar duplicidad de esfuerzos o ineficiencia.
- Cambios en las prioridades gubernamentales con cada administración pueden retrasar o desincentivar la implementación.
- Empresas pequeñas y medianas (PyMES) enfrentan dificultades para obtener financiamiento, especialmente en sectores innovadores.

ANEXO 2. POLÍTICAS, REGULACIONES, HOJAS DE RUTA, Y ESTRATEGIAS CONSIDERADAS PARA CADA ESCENARIO

Consideraciones de marco regulatorio		
Políticas declaradas	Políticas Anunciadas	Carbono neutralidad 2050
Ley 1964 de 2019: * Dentro de los seis (6) años a la entrada en vigencia el Gobierno nacional, los municipios de categoría 1 y Especial, y los prestadores del servicio público de transporte deberán cumplir con una cuota mínima de 30% de vehículos eléctricos en los vehículos que anualmente sean comprados o contratados para su uso. * Las ciudades que cuenten con Sistemas de Transporte Masivo deberán garantizar que un % de los vehículos utilizados para la operación de las flotas, sean eléctricos o de cero emisiones contaminantes cuando se pretenda aumentar la capacidad transportadora de los sistemas, cuando se requiera reemplazar un vehículo por destrucción total o parcial que imposibilite su utilización o reparación y cuando finalice su vida útil y requiera reemplazarse, de acuerdo con el siguiente cronograma: 2025 (min 10% vehículos adquiridos) 2027 (min 20% de los vehículos adquiridos) 2029 (40% de los vehículos adquiridos) 2031 (min 60% de los vehículos adquiridos) 2033 (min 80% de los vehículos adquiridos) 2035 (min 100% de los	Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica y Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (ENTS): Establecen la meta de 600.009 a 2030. El enfoque de la estrategia es priorizar la transición hacia el uso de la electricidad en vehículos de uso intensivo como el transporte público de pasajeros, taxis, vehículos de carga de última milla, carga interurbana y vehículos de uso oficial, así como la exploración en otros modos de transporte La NDC establece como meta: 600,000 vehículos eléctricos de las categorías: taxi, vehículos de pasajeros, vehículos ligeros, camiones ligeros, vehículos oficiales.	Ley 2169 de 2021: Acción climática * Reducir en un 51% las emisiones de GEI con respecto al escenario de referencia a 2030 de la NDC. Máximo de emisiones país de 169.44 millones de tCO₂eq en 2030. * Alcanzar la carbono neutralidad en 2050 * Reducir las emisiones de carbono negro en un cuarenta por ciento (40%) respecto al 2014, lo que representa una emisión máxima de carbono negro de 9.195 toneladas en 2030

vehículos adquiridos)		
Ley 1972 de 2019: A partir del 10 de enero de 2030 todos los Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM), Sistemas Estratégicos Transporte Público (SETP), Sistemas Integrados Transporte Público (SITP) y los Sistemas Integrados de Transporte regional (SITR) deberán contar con un mínimo de 20% de la flota total nueva correspondiente a tecnología cero emisiones.	Estrategia Nacional de Economía Circular: A 2030, incrementar en 20% el aprovechamiento de la biomasa residual con respecto a la línea base de los sectores priorizados de 2020: avícola, ganadera, porcícola, palmicultor y cañero.	PIGCCme: * La meta de reducción de emisiones del sector minero energético es la reducción de 11,2 Mt de CO₂ en el año 2030 * El potencial de mitigación presentaría una variación entre 11,2 Mt CO₂eq y los 18,1 Mt CO₂eq para el año 2030
Ley 2277 de 2022 (reforma tributaria): Impuesto al carbono * La ley establece una tarifa base por tonelada de CO₂eq que se ajustará cada 1° de febrero con la variación en el IPC del año anterior + 1 punto porcentual hasta llegar a 3 UVT por tonelada de CO₂eq. * Además, cada combustible tiene un factor de emisión distinto, así que se convierte esa tarifa general a una tarifa específica por unidad comercial del combustible (galón, tonelada, m³, etc.). * Como el precio por unidad de	Plan Maestro Ferroviario: Presenta los Proyectos férreos de pasajeros por departamentos en diferentes etapas del proyecto (tramos, longitud, tipo)	Plan Maestro Ferroviario: Presenta los Proyectos férreos de pasajeros por departamentos en diferentes etapas del proyecto (tramos, longitud, tipo)

combustible se deriva del precio por tonelada de CO₂eq, también crecerán en la misma proporción cada año. * El tope máximo al que puede llegar el impuesto es 3 UVT por tonelada de CO₂eq (y luego se congela en ese valor). * La resolución 000008 de 2025 establece la tarifa base por tonelada de CO₂eq en \$27.399,14. Para revisar el valor equivalente por unidad comercial de combustible revisar la resolución.		
Ley 2294 de 2023 - PND: * 2.000 MW de capacidad en operación comercial de generación eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energía renovable. * Llegar a 2,14 millones de toneladas de CO₂ mitigadas por el sector transporte. Es decir, dos millones adicionales frente a 2021.	Plan de sustitución de leña: Año 2026 se espera reducir el consumo nacional de leña para la cocción doméstica de alimentos hasta en 1,7 millones de toneladas; entre 2027 y 2030 hasta en 3,9 millones; y entre 2031 y 2050 hasta en 30,7 millones. En total, al 2050 se espera dejar de quemar hasta 36,2 millones de toneladas de leña.	Plan de sustitución de leña: Año 2026 se espera reducir el consumo nacional de leña para la cocción doméstica de alimentos hasta en 1,7 millones de toneladas; entre 2027 y 2030 hasta en 3,9 millones; y entre 2031 y 2050 hasta en 30,7 millones. En total, al 2050 se espera dejar de quemar hasta 36,2 millones de toneladas de leña.
Resolución 000501 de 2024: Límite máximo de potencia de la actividad de Autogeneración Colectiva (AGRC) y Generación Distribuida Colectiva (GDC) en áreas urbanas y rurales será menor a 5MW	Hoja de Ruta Hidrógeno y Hoja de Ruta TEJ: * El costo nivelado del hidrógeno puede variar entre 2,1 y 4,5 usd/kgH₂ en 2030 dependiendo de la región de producción. * Para el 2050 se espera un costo nivelado aproximado de 1,5 y 3 usd/kgH₂, siendo la Guajira la región con menor costo. * El amoníaco tiende a estar en valores desde 450 USD/tNH₃ dentro de los costos proyectados por IRENA * El metanol no obtiene costos competitivos. * Hay 49 proyectos (13 pilotos, 36 productivo) * Metas: primera fase (1 a 3 GW hidrógeno de bajas emisiones), segunda fase (15 GW a 2040) * Inversión: 5.500 USD a 2030 (20% nación y 80% privado)	

	* Metas demanda por sector (kt): -Industria: 62,9 a 2030, 173,1 a 2040, 367,5 kt a 2050 - Exportación: 50 a 2030, 280 a 2040, 590 a 2050 - Refinería: 65,1 a 2030, 130,2 a 2040, 130 a 2050 - Transporte 0 a 2030, 10,6 a 2040, y 39 a 2050	
Resolución 40431 de 2024: modificación temporal mezclas biocombustibles * La resolución establece que durante el año 2024 el porcentaje obligatorio de mezcla por cada galón o litro deberá ser del 8% y del 2025 en adelante del 10%. * Señala la flexibilidad por oferta de un promedio entre 2% y 8%. * La resolución es vigente hasta 2024, y según la resolución 40447 de 2022 (actualmente vigente) los porcentajes obligatorios son a partir de 2025. Pero pueden crearse resoluciones de flexibilidad frente a ese porcentaje.	Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia: * En un escenario bajo, la energía eólica offshore se desarrolla mediante proyectos individuales de menor tamaño (<500 MW). Se proyecta una capacidad de 200 MW para 2030, 500 MW para 2040 y 1,5 GW para 2050 sobre una base acumulativa. * En un escenario alto, la energía eólica offshore se desarrolla a escala comercial con proyectos de hasta 1 GW. Se prevé una capacidad de 1 GW para 2030, 3 GW para 2040 y 9 GW para 2050, sobre una base acumulativa.	
Plan Maestro Ferroviario: Presenta los Proyectos férreos de pasajeros por departamentos en diferentes etapas del proyecto (tramos, longitud, tipo)		



UPME

© UPME

Av. Calle 26 # 69 D-91 Torre 1 - Piso 9
Bogotá - Colombia | +57 601 2220601
upme.gov.co