

# LECCIONES DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA GLOBAL PARA ADECUAR EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA



Septiembre de 2024

Investigaciones Económicas Corficolombiana

## Lecciones de la transición energética global para adecuar el proceso de implementación en Colombia

Informe Especial

Tabla de contenido

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Recuadro 1: Mitos y realidades de la transición energética</b>	<b>5</b>
<b>1. JUSTIFICACIÓN DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA</b>	<b>6</b>
1.1. La urgencia de la transición	6
El efecto invernadero	6
Los tres gases de efecto invernadero	7
1.2. Panorama general del consumo energético	10
1.3. La importancia del gas natural en la transición energética	16
1.4. Requerimientos de la transición energética	20
Reducción de emisiones netas de carbono requeridas y compromisos actuales	21
Redistribución de la matriz energética e inversiones requeridas	25
Otros mecanismos: Impuestos y compensación de emisiones	26
Priorización: Transición Vs Seguridad	27
<b>2. CONTEXTO GLOBAL DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA</b>	<b>29</b>
2.1. La recuperación post COVID-19: un agravante para la transición energética	29
2.2. La invasión rusa a Ucrania	30
2.3. Impacto sobre el mercado y la seguridad energética	34
<b>3. IMPLEMENTACIÓN GLOBAL Y LOCAL DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA</b>	<b>36</b>
3.1. Escenarios de implementación de la transición energética global	36
El objetivo final: Emisiones netas cero para 2050	36
Descripción de los escenarios de la Agencia Internacional de Energía	37
Descripción de los escenarios de la Red para el Reverdecimiento del Sistema Financiero (NGFS)	39
Diagnóstico negativo: escenarios en riesgo	42
3.2. Ejemplos para Colombia: Casos tipo	42
Caso truncado alemán	43
Ejemplo de pragmatismo noruego	47
Desarrollo del gas natural en Israel	49
3.3. Colombia: Futuro en Construcción	50
Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa (TEJ) en construcción	51
Evolución reciente de la transición en Colombia	52
Alto potencial, avance limitado	53
El transporte como motor de cambio y el proceso de electrificación en curso	55
El gas como oportunidad de descarbonización: ¿en peligro?	58
Recursos requeridos y la importancia de los recursos del petróleo y gas	59
<b>Recomendaciones para el proceso de transición colombiano</b>	<b>62</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>67</b>

Septiembre de 2024

**Tabla de ilustraciones**

Gráfico 1. Esfuerzo requerido para alcanzar la meta de limitar el calentamiento global a 1,5°C.....	2
Gráfico 2. Consumo final de energía por sector (2021).....	10
Gráfico 3. Consumo final global de petróleo por sector (2021).....	11
Gráfico 4. Consumo final de gas natural global por sector (2020).....	13
Gráfico 5. Evolución del consumo de energía mundial.....	14
Gráfico 6. Matriz energética global (1980).....	15
Gráfico 7. Matriz energética global (2023).....	15
Gráfico 8. Participación del petróleo y gas natural en la matriz de consumo de energía mundial.....	15
Gráfico 9. Matriz eléctrica global (1990).....	16
Gráfico 10. Matriz eléctrica global (2023).....	16
Gráfico 11. Precio gas natural (USD/MBtu) para alcanzar la meta de cero emisiones.....	17
Gráfico 12. Principales productores de gas natural en 2022.....	19
Gráfico 13. Evolución de la producción de gas natural por región.....	19
Gráfico 14. Principales exportadores de gas natural (2023).....	20
Gráfico 15. Evolución del consumo de gas natural por regiones.....	20
Gráfico 16. Participación en las emisiones de CO <sub>2</sub> (2022).....	23
Gráfico 17. Participación en las emisiones totales de GEI (2022).....	23
Gráfico 18. Participación por actividad en las emisiones de GEI de Colombia.....	24
Gráfico 19. Matriz de generación eléctrica ideal para escenario de 0 emisiones netas *.....	25
Gráfico 20. Búsqueda en Google de transición y seguridad energética (promedio móvil 3 meses).....	28
Gráfico 21. Demanda de energía eléctrica, crecimiento anual.....	30
Gráfico 22. Precio Brent -WTI (dpb).....	32
Gráfico 23. Índice de Gas Natural (FMI) *.....	33
Gráfico 24. Proporción de gas importado de Rusia por los 27 países de la Unión Europea.....	34
Gráfico 25. Emisiones globales de CO <sub>2</sub> por sector en cada escenario.....	38
Gráfico 26. Emisiones de CO <sub>2</sub> por escenario y región, 2010 – 2050 *.....	39
Gráfico 27. Emisiones globales de CO <sub>2</sub> por tipo de escenario.....	40
Gráfico 28. Oferta primaria de energía por tipo de fuente, escenario transición demorada.....	41
Gráfico 29. Oferta primaria de energía por tipo de fuente, escenario políticas actuales.....	41
Gráfico 30. Evolución de la generación eléctrica en Alemania.....	44
Gráfico 31. Evolución de los precios de la electricidad en euros para los consumidores domésticos.....	45
Gráfico 32. Precios de la electricidad en euros para los consumidores domésticos - datos semestrales.....	45
Gráfico 33. Generación eléctrica por fuentes en Alemania (2022).....	46
Gráfico 34. Generación eléctrica por fuentes en Colombia (2022).....	46
Gráfico 35. Petróleo noruego exportado a la.....	49
Gráfico 36. Gas Natural noruego exportado a la UE.....	49
Gráfico 37. Contraste de consumo energético discriminado del PEN 2022 – 2052 y consumo energético total PEN 2020 – 2050*.....	51
Gráfico 38. Oferta energética para consumo final en Colombia (2021).....	53
Gráfico 39. Oferta energética para consumo final en Colombia – Participación (2022-2052).....	55
Gráfico 40. Consumo de recurso energético en Colombia por sector (2022 - 2052).....	56
Gráfico 41. Parque automotor de Colombia por tipo de vehículo.....	58
Gráfico 42. Esquemas de precios al carbono explícitos (2022).....	61
Tabla 1. Emisiones de GEI y tiempo de vida atmosférico para algunos gases seleccionados.....	7
Tabla 2. Coeficientes de emisión de dióxido de carbono por tipo de combustible.....	12
Tabla 3. Generación de electricidad, capacidad de generación y oferta energética mundial para lograr el NZE en 2050.....	18
Tabla 4. Disminución de emisiones de CO <sub>2</sub> necesarias.....	37
Tabla 5. Avance requerido de 2022 a 2030 para lograr la meta de 2050 (IEA, 2023).....	42
Tabla 6. Meta de adquisición de vehículos eléctricos (sector público).....	57

Septiembre de 2024

Investigaciones Económicas Corficolombiana

## Lecciones de la transición energética global para adecuar el proceso de implementación en Colombia

### Informe Especial

Director de Proyecto	Andrés Duarte Pérez
Director Ejecutivo Investigaciones Económicas	César Pabón Camacho
Analistas	Laura Gabriela Bautista Escobar Dino Francisco Córdoba Lache Nicolas Cruz Walteros Rafael Hernando España Amador * Felipe Esteban Espitia Murcia Pablo Fernando Fernández Luna * Catalina Figueroa Castro Alejandra Gacha Mendoza Andrés Felipe Gallego González Diego Alejandro Gómez Gutierrez Maria Paula González Rodríguez * Jose Ignacio López* Jose Luis Mojica Agudelo* Maria Camila Orbegozo Daza * Mateo Pardo Ortega Juan Camilo Pardo Niño * Laura Daniela Parra Pérez * Juana Valentina Rodríguez Cubides *

*Dado que los temas tratados en este documento requieren del uso de terminología que normalmente no utilizamos en nuestras publicaciones, a lo largo del texto, entre paréntesis o como nota a pie de página, definimos cada término, sigla, unidad y escala, la primera vez que los utilizamos (como mínimo). Asimismo, todas las definiciones aparecen listadas en el anexo 1 (GLOSARIO, SIGLAS, UNIDADES Y ESCALAS). Las cifras citadas en este documento corresponden a las últimas disponibles por cada fuente al cierre de agosto de 2024. Dada la atipicidad de 2020 debido al COVID-19, en el caso de 2020 como último año de información disponible, comparamos la información con lo que pasó en 2019.*

## Introducción

La transición energética se ha consolidado como uno de los temas más discutidos por los líderes globales en las últimas décadas, reflejando su importancia en las agendas políticas y económicas a nivel mundial. Organismos como la Agencia Internacional de Energía, las Naciones Unidas, la Agencia Internacional de Energías Renovables, el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, así como los gobernantes de las principales economías, han puesto de relieve su importancia. A pesar de su constante presencia en el discurso público, su significado y alcance a menudo son malinterpretados o confundidos con diferentes enfoques, lo que limita una comprensión clara de su impacto y de las acciones necesarias para su implementación<sup>1</sup>.

En el contexto colombiano, la transición energética adquiere una relevancia particular, no solo por los retos que enfrenta el país en diversificación energética y sostenibilidad, sino también por el potencial que representa para dinamizar el crecimiento económico en un entorno de desaceleración. Colombia se encuentra en un momento crítico en el que la transición energética puede transformarse en una oportunidad estratégica. Aprovechar este cambio implicaría avanzar hacia fuentes de energía más limpias y seguras, generando nuevas inversiones, empleos y desarrollos tecnológicos que podrían revitalizar sectores clave de la economía.

Es fundamental entender cómo el país puede alinearse con las tendencias globales mientras diseña políticas y estrategias que maximicen los beneficios de este proceso, ayudando a superar los desafíos actuales de crecimiento y sostenibilidad. Para ello, es esencial partir de la comprensión de que la energía es la capacidad para realizar un trabajo —ya sea poner en movimiento, transformar, etc.— y se presenta en diversas formas, como potencial, cinética, térmica, eléctrica, química y nuclear. Todas las actividades humanas, incluidas las que utilizan máquinas y aparatos, dependen del uso de energía. Por ende, la disponibilidad de fuentes energéticas es vital para el funcionamiento y, aún más, para el crecimiento de los países.

La transición energética implica un cambio en la producción y consumo de energía, pasando de sistemas basados en combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) a sistemas fundamentados en fuentes renovables (solar, eólica e hidráulica). El objetivo es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que provienen del uso de fuentes fósiles. Los GEI, especialmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)<sup>2</sup>, se acumulan en la atmósfera, impidiendo la salida del calor y contribuyendo al cambio climático<sup>3</sup>. Este fenómeno incluye el

---

<sup>1</sup> En el Recuadro 1 resumimos los mitos y realidades sobre la transición energética, aclarando conceptos básicos que se han confundido y dado lugar a diversas interpretaciones en medio de esta discusión, basado en el análisis integral del documento.

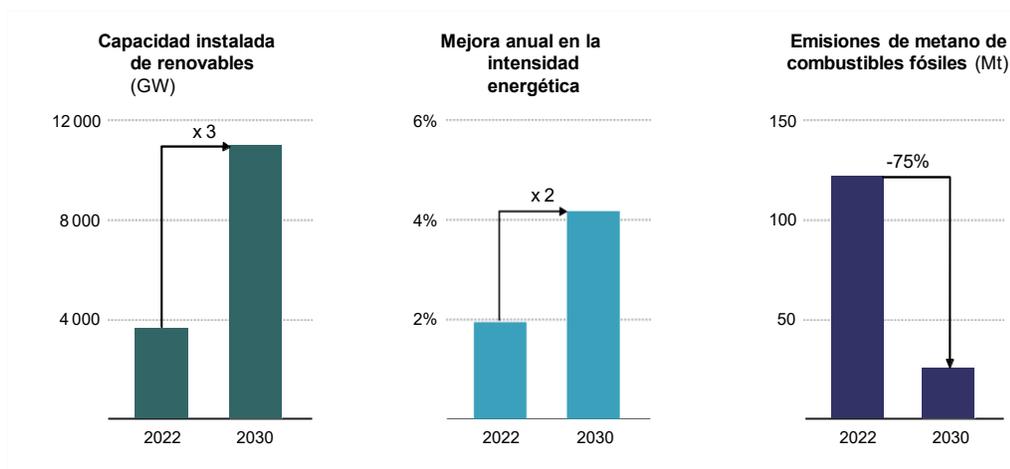
<sup>2</sup> Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>): Principal Gas Efecto Invernadero (GEI). El relacionado con actividades humanas se libera principalmente en i) el consumo de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y sus derivados, y -en menor medida- el gas natural; además de la quema leña para generar energía, ii) la deforestación, los incendios forestales, el cambio en el uso de la tierra, y iii) algunos procesos industriales como la producción de cemento. Para efectos prácticos, los GEI se expresan en unidades equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>eq). A lo largo del texto nos referimos indistintamente a GEI, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>eq y carbono.

<sup>3</sup> Cambio Climático: Cambio de largo plazo en la temperatura global y los patrones climáticos.

aumento de la temperatura atmosférica promedio a largo plazo (calentamiento global) y efectos secundarios como el derretimiento de glaciares, así como tormentas y sequías más severas y frecuentes.

El incremento del nivel del mar en este siglo es el más significativo en los últimos treinta siglos, y la última década ha sido la más calurosa en 125,000 años. El calentamiento global ha alcanzado 1.1 °C por encima de los niveles preindustriales<sup>4</sup>, mientras que el límite estimado para evitar efectos adversos irreversibles se sitúa en 2 °C. En este contexto, el proceso de transición energética, tanto a nivel global como en Colombia, cobra relevancia. La urgencia de corregir el rumbo climático del planeta, principal objetivo de esta transición contrasta con el inmenso costo requeridos para implementarla (Gráfico 1). No obstante, es fundamental reconocer que la transición energética es necesaria debido a la naturaleza finita de los recursos fósiles.

**Gráfico 1. Esfuerzo requerido para alcanzar la meta de limitar el calentamiento global a 1,5°C**



*Fuente: International Energy Agency (2023), Net Zero Roadmap 2023 Update.. \* GW: Gigavatios (10<sup>9</sup> vatios).*

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), aproximadamente tres cuartas partes de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial provienen de la producción y uso de energía, incluidos el transporte y la industria. Por lo tanto, la transición energética es esencial para reducir estas emisiones. A pesar de que una combinación más limpia de fuentes de energía primaria puede limitar la emisión de GEI y, en consecuencia, el calentamiento global, la transformación del sector energético por sí sola no es suficiente para lograr la carbono-neutralidad global, que implica alcanzar cero emisiones netas de CO<sub>2</sub> a nivel mundial<sup>5</sup>.

Es importante aclarar que alcanzar cero emisiones netas de CO<sub>2</sub> a través de la transición energética se limita a las emisiones asociadas con la producción y el consumo de energía, así como a los procesos industriales. Más de una quinta parte de las emisiones globales de GEI provienen de la agricultura, silvicultura y uso de la

<sup>4</sup> Era preindustrial: Anterior a la revolución industrial (1760 a 1840). "Nivel preindustrial" hace referencia a la temperatura promedio global antes de la revolución industrial.

<sup>5</sup> Nos referimos indistintamente a "reducir a cero la huella de carbono", "limitar a cero las emisiones netas de GEI" y lograr la "carbono-neutralidad". En el anexo 1 aparecen las definiciones exactas de estos términos.

tierra (Universidad de Oxford, 2023), lo que implica que los cambios requeridos también deben abarcar la producción y el consumo de alimentos, así como la limitación de la deforestación y la quema de madera. Se trata de un esfuerzo global a largo plazo que debe llevarse a cabo de manera ordenada y gradual.

Además de la transformación de las fuentes de energía, la transición energética también incluye una mayor electrificación global. Esto significa que la energía eléctrica debe representar una mayor proporción en el consumo energético final. Asimismo, la transición implica mejorar la eficiencia energética, es decir, requerir menos energía para lograr el mismo crecimiento del PIB y redistribuir el consumo energético total entre los países.

El plazo de referencia para la transición energética se establece en 2050, con el objetivo de alcanzar cero emisiones netas de GEI para ese año y limitar el incremento de la temperatura promedio global en 2 °C (idealmente 1.5 °C) respecto a la era preindustrial. En este sentido, las contribuciones de Colombia al calentamiento global son marginales; nuestro país representa solo el 0.55% de las emisiones globales de GEI y el 0.54% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Our World in Data, 2021). En contraste, países como China, Estados Unidos, India y Rusia generan el 53.4% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el 48.8% de las emisiones de GEI.

Aunque Colombia debe participar en el proceso de transición, es esencial reconocer su limitada relevancia a nivel global. Además, la mayor parte de las emisiones de GEI en el país provienen de la agricultura y el uso de la tierra, que representan un 57.4% en promedio desde 2009, mientras que el sector energético y el transporte contribuyen con un 32.3% (United Nations Framework on Climate Change, 2023). Por lo tanto, como proponemos en este trabajo, Colombia debe abordar el problema de sus emisiones de manera coherente con estas participaciones, considerando también las implicaciones fiscales y de seguridad energética. Concluimos que la transición energética de Colombia requiere los recursos del sector minero-energético; de lo contrario, corremos el riesgo de caer en la trampa de la pobreza.



En este trabajo revisamos las metas, los planes de implementación y el estado de avance del proceso de transición energética a nivel mundial y nacional. El documento aborda temas clave sobre la transición energética, comenzando con su justificación y el papel fundamental del gas natural. Este proceso se presenta como esencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y evitar una crisis ambiental,

lo que demanda una redistribución de la matriz energética global. En este contexto, se presenta el gas natural se destaca como “combustible de transición”, ya que emite menos GEI que otros combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón. Además, se analizan los compromisos internacionales y mecanismos emergentes, como los mercados de carbono, que son vitales para facilitar este cambio. Es imperativo que todos los países se involucren, respaldados por un compromiso financiero que incluya la “justicia climática”, un aspecto aún pendiente de concretarse. La transición debe, sin duda, garantizar el acceso a energía asequible, asegurando la seguridad energética.

El segundo capítulo ofrece un contexto global de la transición energética, revisando los acontecimientos que impactan su implementación y enfoque. Se destaca que las consideraciones económicas han tomado un rol predominante, subrayando la importancia de contar con confiabilidad energética, dada la limitación de cada fuente. Se establece la expectativa de que la seguridad energética continúe siendo la prioridad en el futuro.

El tercer capítulo analiza la implementación de la transición tanto a nivel global como local. Contrasta enfoques para alcanzar la carbono-neutralidad y limitar el calentamiento global a 2°C (idealmente a 1,5°C). El análisis de escenarios de la Agencia Internacional de Energía y la Red para el Reverdecimiento del Sistema Financiero concluye que los escenarios ideales ya no son alcanzables. Esto refuerza la urgencia de que países como Colombia aumenten sus inversiones en mitigación y adaptación. Se examinan también casos de transición energética que pueden servir de referencia para Colombia. Se resalta la necesidad de ampliar la generación con fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) y garantizar la confiabilidad del sistema. Priorizar la sostenibilidad es esencial para obtener los recursos necesarios tanto para la transición como para mitigar los efectos del cambio climático. Para anticipar lo que puede esperarse de la implementación en Colombia, se revisa la información oficial de la UPME sobre la oferta y demanda de energía, así como datos de la “Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa”.

Finalmente, se presentan recomendaciones para el proceso de transición energética en Colombia, que abordan aspectos cruciales como la seguridad energética, la reintegración del componente sostenible en la Transición Energética Justa (TEJ), y la participación del capital privado. Se destaca la importancia de la cooperación internacional y el aprendizaje de otros procesos de transición, así como la necesidad de adaptar las estrategias al contexto geopolítico actual.

En conclusión, si entendemos la transición como el reemplazo total de combustibles fósiles, podemos afirmar que aún no ha comenzado globalmente. A nivel local, se observa una creciente distancia entre el potencial energético de Colombia y la realidad actual. Esto no disminuye el esfuerzo realizado a nivel internacional y nacional, evidenciado a lo largo del documento. Se ha identificado un camino hacia una transición ordenada, donde es fundamental ajustar el proceso, reconociendo la necesidad de recursos del sector hidrocarburos, priorizando la seguridad energética y enfocándose en el desarrollo de proyectos de interés público.

## Recuadro 1: Mitos y realidades de la transición energética

- 1) El consumo energético final de energía se da a través de combustibles fósiles, calor y electricidad. La transición energética global involucra a la **totalidad de la oferta y la totalidad de la demanda, no se limita a la electricidad** (una fracción de la demanda), si bien busca una mayor participación de esta en el consumo energético final.
- 2) En la actualidad las tecnologías de almacenamiento eléctrico a gran escala están en desarrollo. Por lo pronto, únicamente los combustibles fósiles y la energía nuclear aseguran la disponibilidad de energía eléctrica en cualquier momento. Consecuentemente, **la participación de fuentes renovables en la matriz de generación eléctrica (agua, viento, sol, etc., utilizados para generar electricidad) deben ser respaldadas por combustibles fósiles** para garantizar la confiabilidad (disponibilidad en todo momento) en el suministro de esta energía.
- 3) El proceso de transición energética incluye una mayor participación de la electricidad en el consumo energético final (mayor electrificación). Sin embargo, y como ejemplo, una mayor electrificación junto con la utilización de vehículos eléctricos (consumo de electricidad), en reemplazo de vehículos de combustión (consumo de combustibles fósiles), **disminuye la emisión de GEI únicamente si la matriz de generación eléctrica utilizada es más limpia**.
- 4) Una mayor electrificación implica el **mantenimiento y la ampliación de las redes eléctricas nacionales e internacionales**. Se estima que de 2023 a 2040 se debe adicionar o reemplazar el equivalente a la totalidad de la red eléctrica global actual (IEA 2023)<sup>6</sup>. Aunque en la actualidad la falta de renovación y ampliación de la red eléctrica es la parte más débil dentro del proceso de transición global, en este informe tratamos el tema de la red eléctrica de manera tangencial únicamente, a través de los cálculos de inversiones requeridas. En todo caso, es importante reconocer que el problema de la red eléctrica es generalizado, no se limita a Colombia.
- 5) La transición energética abarca la **totalidad de los sistemas de producción (oferta total) y consumo (demanda final) de energía**, que participan actualmente de alrededor de tres cuartas partes de las emisiones de GEI. Asimismo, las proyecciones que utilizamos en relación con el logro de cero emisiones netas de GEI en 2050, incluyen tanto las emisiones asociadas a los sistemas energéticos, como a los procesos industriales. Sin embargo, este logro no es suficiente para frenar el calentamiento global, pues también deben disminuir las emisiones netas asociadas a la agricultura, la deforestación y el cambio en el uso de los suelos, entre otras.
- 6) Hay diferentes escenarios para el logro de emisiones netas cero de GEI en 2050. El escenario NZE (*Net Zero Emissions*, Emisiones Netas Zero) de la IEA, actualizado en septiembre de 2023, donde se cumple de manera ordenada la carbono-neutralidad para el sector energético y la industria, asume una disminución de 7,8% en la oferta total de energía a nivel global de 2020 a 2050, junto con una disminución en el consumo final de 16,7%. No es un detalle menor, teniendo en cuenta la proporción de economías en desarrollo que aún deben crecer y consumir más energía para salir de la pobreza (incluyendo a Colombia). Por consiguiente, **el avance en la eficiencia o intensidad energética es vital**. En esta misma línea, anotamos que la reducción de emisiones proyectada actualmente depende en un 35% de la utilización de tecnologías por desarrollar (una mejora notable frente al 46% que se calculaba en 2021).
- 7) **El Hidrógeno es un medio de transporte de energía, no una fuente primaria, ni es relevante en el consumo final de energía (mediante quema directa)**. El potencial de Colombia para producir hidrógeno “limpio” pasa por el potencial de generar energía eléctrica “limpia” adicional a la requerida para el consumo directo. En este informe, la apuesta de Colombia en torno a la producción futura de hidrógeno se aborda indirectamente, a través de la capacidad de generación eléctrica por FNCER.
- 8) Actualmente no se cuenta con tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS por sus siglas en inglés) a gran escala. De contar con tecnologías costo eficientes de CCUS, se podrían reducir las emisiones netas de GEI del sector energético sin cambiar la matriz actual, pero ese no es el caso. En las diferentes proyecciones sobre el cumplimiento de la carbono-neutralidad del sector, estas tecnologías cobran mayor relevancia a partir de 2040. En todo caso, en ninguno de los análisis o proyecciones a 2050 **se elimina el consumo de combustibles fósiles**. Hay una recomposición a nivel de las fuentes energéticas utilizadas, así como una disminución en el uso de combustibles fósiles -especialmente carbón-, sin llegar a eliminar del todo su utilización.

<sup>6</sup> IEA (2023). *Electricity Grids and Secure Energy Transitions*.

## 1. JUSTIFICACIÓN DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Las diferentes formas de satisfacer la demanda energética generan distintos niveles de contaminación ambiental y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que son responsables del calentamiento global. La transición energética busca atender esta demanda global reduciendo la dependencia de sistemas basados en combustibles fósiles, que producen más GEI, y sustituyéndolos por fuentes renovables, que generan menos emisiones. Esto es crucial para limitar el calentamiento global y prevenir una catástrofe ambiental. **La expansión de la red eléctrica es esencial para aumentar la participación de la energía eléctrica en el consumo final. Sin embargo, en este informe abordamos este aspecto de manera indirecta, al mencionar las significativas inversiones necesarias en el futuro.**

### 1.1. La urgencia de la transición

Los gases de efecto invernadero (GEI) son esenciales para mantener la temperatura del planeta. Sin embargo, su exceso provoca desequilibrios que amenazan diversos ecosistemas e incluso la supervivencia humana. En esencia, los GEI impiden que parte del calor de la Tierra se escape, lo que resulta en un aumento de la temperatura promedio global. Una gran parte de los GEI proviene del uso de combustibles fósiles en el consumo final de energía y en la generación eléctrica. Por ello, es fundamental modificar la composición de las fuentes energéticas hacia una matriz que genere menos GEI y sea menos perjudicial para el medio ambiente, objetivo central de la transición energética. Según la definición de "transición energética" presentada en la introducción, el conocimiento científico actual indica que, si se lleva a cabo esta transición a tiempo, podríamos evitar una catástrofe ambiental al limitar el aumento de la temperatura global a dos grados centígrados (idealmente 1,5 °C) respecto a los niveles preindustriales hasta el año 2050.

### El efecto invernadero

Los sistemas energéticos que ha estado utilizando el ser humano desde la era industrial han incrementado tanto el nivel del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)<sup>7</sup>, GEI que junto con el vapor de agua (H<sub>2</sub>O) y el Ozono (O<sub>3</sub>), atrapan el calor.

La temperatura promedio en la tierra depende de cómo se transforma la luz solar (radiación solar) en calor (radiación infrarroja), cuando la luz solar es absorbida por el suelo. Los GEI atrapan ese calor que se irradia del suelo hacia la atmósfera y evitan que se disipe en el espacio exterior; sin ellos la temperatura promedio en la tierra no estaría cercana a los 14 °C, sino que rondaría los -18 °C (*American Chemical Society, S.F.*).

---

<sup>7</sup> Cuando se habla de GEI, se incluyen estos gases, utilizando como unidad de referencia el CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq).

En términos simples, el calentamiento global significa que hay más energía irradiándose hacia la Tierra que aquella que se está reflejando hacia afuera (MIT, 2010). La cantidad de energía retenida está influenciada por una variedad de factores climáticos, los gases efecto invernadero y aerosoles (incluyen aquellos que surgen por actividades de la naturaleza como las erupciones volcánicas y aquellos que surgen por la actividad humana). Los modelos climáticos<sup>8</sup> no solo indican que existe una fuerte correlación entre los incrementos de temperatura y la irradiación de energía que atrapa el planeta, sino que también muestran que los factores que más impacto tienen en los incrementos de la temperatura tienen origen en la actividad humana.

## Los tres gases de efecto invernadero

Nos referimos a los GEI en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq), unidad que se obtiene al comparar el potencial de calentamiento de una tonelada cada GEI diferente al CO<sub>2</sub> con el de una tonelada de CO<sub>2</sub>. Utilizando esta unidad, el CO<sub>2</sub> participa del 74,4% de las emisiones de GEI, el gas metano (NH<sub>4</sub>) del 17,3%, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>H) del 6,2% y el restante 2,1% se reparte entre otros gases que no vamos a detallar en este trabajo (*The World Resources Institute, 2020*).

**Tabla 1. Emisiones de GEI y tiempo de vida atmosférico para algunos gases seleccionados**

Especie	Tiempo de Vida (Años)	GWP-100 *	GTP-100 *	Producción
CO <sub>2</sub> – Dióxido de Carbono	Múltiple **	1,0	1,0	Quemado de combustibles fósiles, desechos sólidos, árboles y madera. Cambios en el uso de la tierra, deforestación y degradación de la tierra.
CH <sub>4</sub> -Fósil – Metano Fósil	11,8 +/- 1,8	29,8 +/- 5 11	7,5 +/- 2,9	Emitido durante la producción y el transporte de petróleo y gas natural, así como la explotación y transporte de carbón.
CH <sub>4</sub> -No Fósil – Metano No Fósil	11,8 +/- 1,8	27,0 +/- 11	4,7 +/- 2,9	Ganado, uso de la tierra, y decaimiento inorgánico de desechos sólidos en rellenos sanitarios.
N <sub>2</sub> O – Óxido Nitroso	109 +/- 10	273 +/-130	233 +/- 110	Actividades agrícolas e industriales, así como la combustión de combustibles fósiles y desechos sólidos.

**Fuente:** (IPCC, 2021), EPA. Construcción: Corficolombiana. \* GWP: Potencial de Calentamiento Global. GTP: Potencial de Cambio de Temperatura Global. Los potenciales 100 describen lo que puede ocurrir durante un periodo de 100 años luego de que el gas es emitido. \*\* Múltiple o indeterminado, mientras no sea absorbido, permanece en la atmósfera.

**Claves para evaluar la fortaleza relativa de los GEI:** Al tomar el Potencial de Cambio de Temperatura (GTP por sus siglas en inglés) del CO<sub>2</sub> como unidad, vemos que los potenciales del metano y el óxido nitroso son mucho mayores. Lo mismo ocurre con el Potencial de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés). Es indispensable tener en cuenta el "tiempo de vida atmosférico", que es mucho menor para el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O, frente al CO<sub>2</sub>, que no se destruye en el tiempo, sino que se mueve a lo largo de los sistemas oceánicos, atmosféricos y terrestres. Mientras no sea absorbido por la superficie marina o las plantas, el CO<sub>2</sub> puede permanecer durante miles de años en la atmósfera. El 100 que acompaña al GTP y GWP (GTP – 100 y GWP – 100) quiere decir que se trata de una estimación del efecto esperado para los siguientes 100 años luego haberse emitido el GEI.

<sup>8</sup> Modelos climáticos: Modelos matemáticos que caracterizan la interacción entre energía y materia en diferentes partes del océano, atmósfera y tierra, y su efecto sobre el clima (temperatura, viento, presión atmosférica, etc.). También conocidos como modelos generales de circulación.

**El Dióxido de Carbono (~74% de los GEI):** El CO<sub>2</sub> relacionado con actividades humanas, se libera principalmente en i) el consumo de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y sus derivados, y -en menor medida- el gas natural; además de la quema de leña; ii) la deforestación, los incendios forestales, el cambio en el uso de la tierra, y iii) algunos procesos industriales como la producción de cemento. Como lo hemos mencionado, el control a las emisiones relacionadas con el sistema energético involucra a la totalidad del consumo, no solamente el consumo de energía eléctrica.

**El Gas Metano ( 17% de los GEI):** Una unidad de masa de Gas Metano (CH<sub>4</sub>) tiene un potencial de calentamiento 29 veces mayor que el de la misma unidad de masa de CO<sub>2</sub> en un periodo de 100 años (Piers Forster, s.f). Asimismo, su potencial de cambiar la temperatura del planeta en un periodo de 100 años es aproximadamente 7,5 veces mayor que el de una unidad de masa de CO<sub>2</sub> como se puede ver en la tabla 1. Sin embargo, a diferencia del CO<sub>2</sub> que tiene un “tiempo de vida atmosférica” indefinido, el CH<sub>4</sub> se remueve de la atmósfera en aproximadamente doce años de manera natural, a partir de un proceso de oxidación que resulta en CO<sub>2</sub> y agua (H<sub>2</sub>O).



*Fuente: Depositshops.*

Las fuentes más importantes de metano son los pantanos -la descomposición orgánica de sistemas biológicos luego de inundar grandes cantidades de tierra-, la agricultura y las fuentes primarias de energía fósil; carbón, gas natural y petróleo (IEA, *Methane Tracker* 2021), en ese orden<sup>9</sup>. Por su parte, la quema de gas o “*flaring*”, para estabilizar los niveles de presión de los pozos en la producción de petróleo y gas son una fuente importante de generación de GEI (tanto CO<sub>2</sub> como CH<sub>4</sub>). Esta práctica se viene reduciendo tanto por imperativos ambientales, como por la posibilidad de utilizar el gas comercialmente.

---

<sup>9</sup> Teniendo en cuenta la capacidad calórica y el tiempo de vida atmosférica, el beneficio relativo de una hidroeléctrica para compensar la generación de gases efecto invernadero de las plantas térmicas requiere de varios años de utilización.



*Fuente: Depositshops.*

**El Óxido Nitroso (~6% de los GEI):** Una unidad de masa de  $N_2O$  tiene un potencial de calentamiento 273 veces más que el de una unidad de masa de  $CO_2$  en un periodo de 100 años. Por su parte, su potencial de cambiar la temperatura del planeta en un periodo de 100 años es 233 veces mayor que el de una unidad de masa de  $CO_2$  (Tabla 1). Asimismo, su tiempo de vida atmosférica es de alrededor de 109 años, destruyéndose a partir de reacciones químicas.



*Fuente: Depositshops.*

El óxido nitroso es producido por microbios presentes en la mayoría de los suelos y su emisión incrementa en los suelos fertilizados. Asimismo, los excrementos animales -utilizados como estiércol- también producen  $N_2O$ , colocando a la agricultura y el uso del suelo en primer lugar de emisiones, seguido de la combustión de combustibles fósiles y los desechos sólidos<sup>10</sup>.

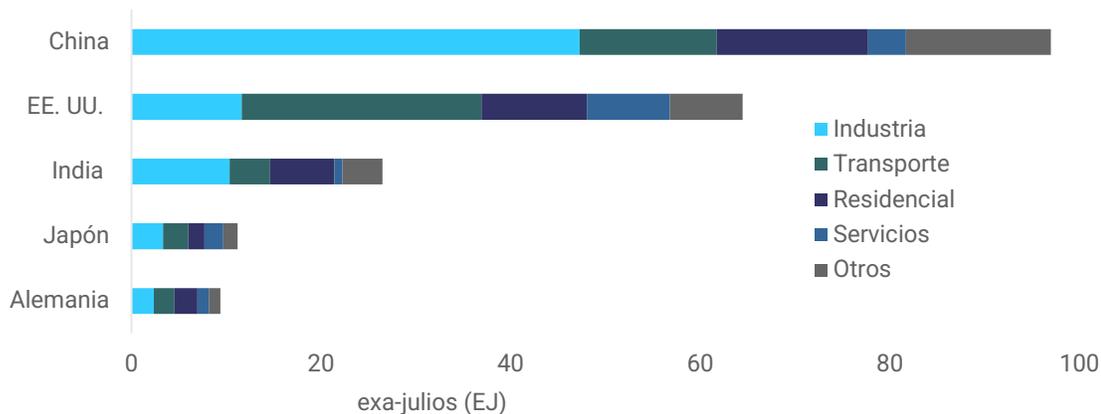
---

<sup>10</sup> Si bien la biomasa es una Fuente No Convencional de Energía Renovable (FNCR) para producir energía eléctrica, este tipo de generación no puede considerarse como energía limpia pues genera importantes cantidades de óxido nitroso, razón por la cual no la mencionamos en este reporte.

## 1.2. Panorama general del consumo energético

A continuación, analizaremos el estado del sistema energético global en términos de fuentes para dimensionar los cambios necesarios a futuro. La magnitud del consumo final de energía por país y la participación sectorial en dicho consumo reflejan factores como el grado de desarrollo económico, el nivel de industrialización y la especialización. (Gráfico 2). Mientras China avanza hacia convertirse en una economía desarrollada, Estados Unidos ya lo es, y su sector industrial ha perdido relevancia en comparación con el sector de servicios. En 2021, el consumo de energía del sector industrial en China representó aproximadamente el 47% del consumo total (frente al 45% en 2020), mientras que en Estados Unidos esta participación fue de alrededor del 12% (frente al 11% en 2020).<sup>11</sup>.

**Gráfico 2. Consumo final de energía por sector (2021)**



*Fuente: IEA. Construcción: Corficolombiana.*

*\*Incluye servicios públicos y comerciales, agricultura, pesca y no especificados. EJ: Exajulios ( $10^{18}$  Julios).*

En 2021, el petróleo representó el 31,0% del consumo de energía en la matriz energética global, seguido por el carbón con un 26,9% y el gas natural con un 24,4%. Esta composición resalta la importancia de los combustibles fósiles y la dificultad de sustituirlos por otras fuentes. Considerando los niveles de emisiones de GEI de los distintos combustibles fósiles y la actual composición de la matriz energética, el reemplazo del carbón es más urgente que el del petróleo, y este, a su vez, es más urgente que el del gas natural. Por estas razones, junto con su costo relativamente bajo, el gas natural se posiciona como el hidrocarburo clave en la transición energética.

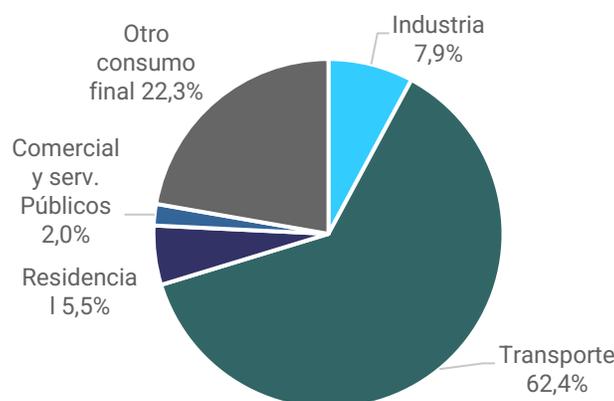
Es importante anotar que la matriz energética se puede limpiar tanto reemplazando la participación relativa del consumo de combustibles fósiles por fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), como

<sup>11</sup> Las cifras de 2020 están afectadas por el COVID-19, razón por la cual, cuando la última cifra disponible es de 2020, incluimos entre paréntesis los valores correspondientes a 2019.

reemplazando las fuentes fósiles más contaminantes -en términos de su emisión de GEI- como el carbón y el petróleo, por otras menos contaminantes<sup>12</sup> como el gas natural. De hecho, según el Consejo Mundial de la Energía, si en la actual matriz de generación eléctrica se reemplazara el carbón por gas natural, se lograría una reducción del 45% en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes del carbón (Mitjans, 2023).

El petróleo proporciona energía a través de sus productos derivados, como la gasolina, el diésel, el gasóleo y el combustible para aviones. Sin embargo, su importancia va más allá de la energía, ya que se utiliza como materia prima para obtener diversos productos, destacando las materias petroquímicas. Estas se emplean en la fabricación de plásticos, ceras, aceites lubricantes y asfalto, entre otros. Además, el petróleo contribuye a la producción de bienes de consumo diario, como vestuario, calzado, maquillaje y productos de cuidado personal (Espinasa, Medina y Tarre, 2016).

**Gráfico 3. Consumo final global de petróleo por sector (2021)**



**Fuente:** IEA. **Construcción:** Corficolombiana

*Otro consumo final Incluye agricultura, servicios públicos y comerciales, otros no especificados, tuberías, transporte no especificado y uso no energético.*

La distribución sectorial del consumo final de petróleo (Gráfico 3), junto con su participación en la matriz energética, resalta su importancia sistémica en la actualidad. Es relevante recordar que, frente a 2019, el consumo total de petróleo disminuyó en 2020 debido al COVID-19, con una caída del 9,4% a/a, y la participación del transporte en su consumo se redujo en 3,7 puntos porcentuales.

En cuanto al gas natural, su desarrollo fue posterior al del petróleo (Rodríguez, 2020). Este recurso puede utilizarse en procesos industriales y en medios de transporte como automóviles, camionetas y autobuses,

<sup>12</sup> Contaminación Atmosférica o Polución: Cambio en las características naturales de la atmósfera causado por agentes químicos, físicos o biológicos.

además de servir para la generación de energía eléctrica. También se emplea como materia prima en la industria petroquímica (EIA, s.f.). Su uso doméstico abarca la calefacción, la cocción de alimentos en hornos o estufas, y los calentadores de agua. Dada su menor costo en comparación con la electricidad para estas aplicaciones, el gas natural es fundamental para la calidad de vida de la población que, de otro modo, no podría acceder a estos servicios. En el anexo 3, incluimos una referencia histórica sobre el gas natural.

**Tabla 2. Coeficientes de emisión de dióxido de carbono por tipo de combustible**

Combustible	Kg de CO <sub>2</sub> / M de Btu	Promedio
<b>Para hogares y negocios</b>		
Carbón (todos los tipos)	96,10	
Combustible residual para calefacción (sólo empresas)	75,09	
Gasóleo y combustible para calefacción doméstica (fuelóleo destilado)	74,14	
Queroseno	73,19	71,54
Gasolina para motores	70,66	
Gasolina de motor acabada (b)	67,34	
Propano	62,88	
Gas natural	52,91	
<b>Otros combustibles de transporte</b>		
Combustible para reactores	72,23	70,71
Gasolina de aviación	69,19	
<b>Combustibles industriales</b>		
Coque de petróleo	102,12	102,12
<b>Carbón por tipo</b>		
Coque	113,67	
Antracita	103,69	
Lignito	98,16	101,18
Sub-bituminoso	97,13	
Bituminoso	93,24	
<b>Otros combustibles</b>		
Combustible derivado de neumáticos (a)	85,97	
Aceite usado (a)	74,00	
Residuos sólidos urbanos (b)	49,89	52,47
Geotérmica (vapor)	11,81	
Geotérmica (ciclo binario)	0,00	

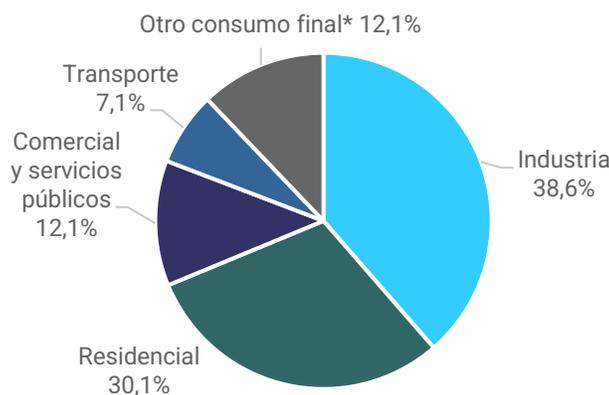
*Fuente: EIA. Construcción: Corficolombiana. a Incluye el etanol carburante mezclado con gasolina de motor. El componente de etanol combustible de la gasolina de motor acabada se trata como no emisor. b El factor carbono de los residuos sólidos urbanos se ha ajustado para aplicarlo tanto a los residuos biogénicos como a los no biogénicos.*

De esta manera, el consumo de gas natural en los distintos sectores en 2020 (Gráfico 4), muestra que su uso se concentra en el sector industrial con 38,6% (37,6% en 2019) y el residencial con 30,1% (29,7% en 2019), mientras que, la participación del sector transporte es apenas del 7,1% (7,3% en 2019). La disminución del consumo de gas en 2020 debido al COVID-19 fue apenas 2,7% a/a.

En este punto, es importante recordar que entre las ventajas de la utilización del gas natural se encuentra que este es relativamente limpio al emitir menos GEI en comparación con otros combustibles fósiles (Sergey et

Al., 2011). Además, tiene un alto poder calorífico<sup>13</sup>, y es versátil, por lo que puede emplearse para una amplia variedad de industrias petroquímicas distintas a su uso como combustible (Economides & Wood, 2009). En efecto, al evaluar el coeficiente de emisiones de dióxido de carbono producidas en la quema de combustibles, se encuentra que el gas natural es de los combustibles con una menor incidencia en la contaminación por gases de efecto invernadero. En particular, el gas natural produce 52,9 kilogramos de CO<sub>2</sub> por millón de unidades térmicas británicas (Btu por sus siglas en inglés), mientras que el carbón produce 96,1 kilogramos de CO<sub>2</sub> por millón de Btu (Tabla 2).

**Gráfico 4. Consumo final de gas natural global por sector (2020)**

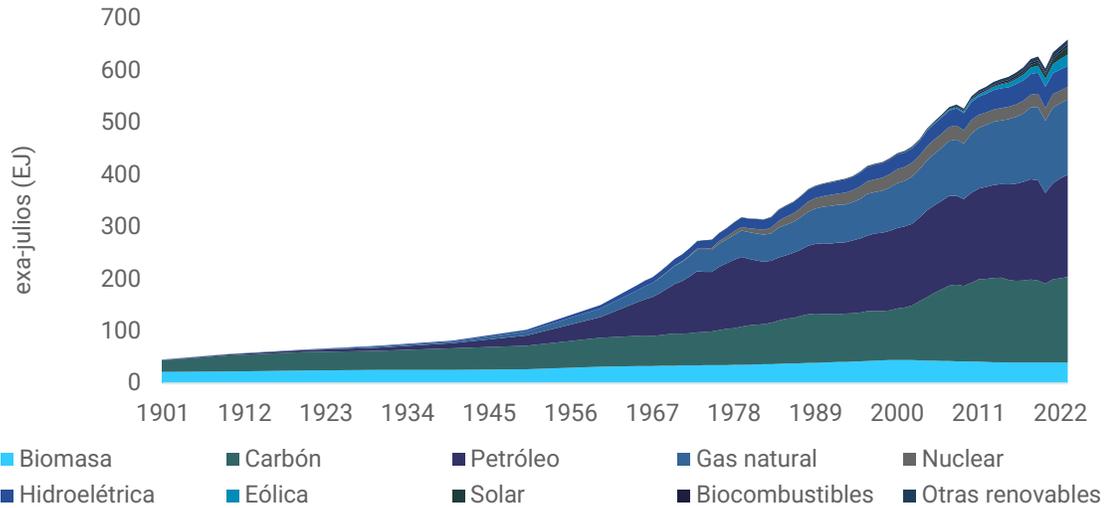


*Fuente:* IEA. *Construcción:* Corficolombiana. \* Incluye uso no energético.

Más allá de las diferencias en los niveles de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de los distintos combustibles fósiles, su consumo ha continuado aumentando desde mediados del siglo XX, salvo en 2020 debido a la pandemia de COVID-19 (Gráfico 5). Actualmente, existe un consenso general sobre los efectos negativos del consumo de combustibles fósiles en el cambio climático (Kahia et al., 2016; Li et al., 2018). Por ello, es esencial que la estructura de consumo energético se dirija hacia fuentes más limpias y, idealmente, renovables, para evitar los problemas asociados con la dependencia de recursos finitos (Çelikkilek y Tüysüz, 2016). Sin embargo, hasta ahora, el uso de fuentes de energía renovable a gran escala se ha visto limitado por un desarrollo tecnológico aún incipiente (Chen et al., 2019).

<sup>13</sup> Poder Calorífico: Cantidad de energía (calor) por unidad de masa que puede generar un combustible al producirse una reacción química de oxidación (la quema de un cigarrillo y una fogata son ejemplos de una reacción química de oxidación).

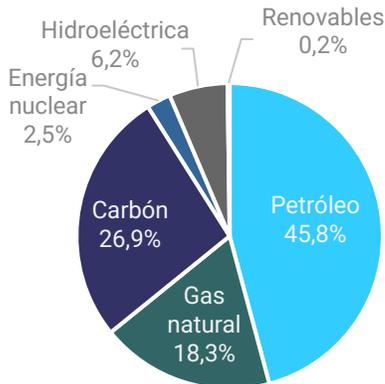
**Gráfico 5. Evolución del consumo de energía mundial**



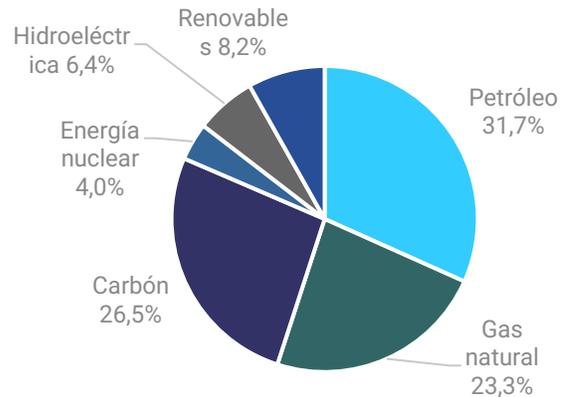
*Fuente:* OurWorldInData. Construcción: Corficolombiana. EJ: Exa-Julios (10<sup>18</sup> Julios).

El consumo de energía a nivel mundial ha aumentado considerablemente desde el siglo XX, como se observa en el Gráfico 5. En 1900, el mundo consumía 44 mil peta-julios (PJ, 10<sup>15</sup> J) o 44 exa-julios (EJ, 10<sup>18</sup> J). Para la década de 1970, este consumo había crecido 5,5 veces, alcanzando más de 240 EJ. En 2023, el consumo mundial llegó a 659 EJ, lo que representa un incremento de 15,1 veces respecto a 1900. Según datos de BP y la Administración de Información Energética de EE. UU. (EIA), en la primera mitad del siglo XX, el 87% del consumo de energía provenía del carbón y la biomasa. Sin embargo, en la segunda mitad se observó un aumento abrupto en el uso de petróleo. En particular, en un período de 20 años, la participación del petróleo en el consumo final de energía se duplicó, pasando del 20% en 1950 al 40% en 1970. El petróleo alcanzó su punto máximo en 1973, con una participación del 43% en la matriz de consumo de energía mundial. Este incremento en el uso de fuentes de energía fósil ha contribuido al deterioro medioambiental que afecta al planeta. A pesar de que el petróleo ha disminuido su relevancia en la matriz energética global desde 1980, esta reducción ha sido lenta, con una disminución de solo 14,2 puntos porcentuales en 2023 respecto a 1980. Durante el mismo período, el gas natural ha ganado 5,0 puntos porcentuales, pasando del 18,3% en 1980 al 23,3% en 2023 (Gráficos 6 y 7).

**Gráfico 6. Matriz energética global (1980)**

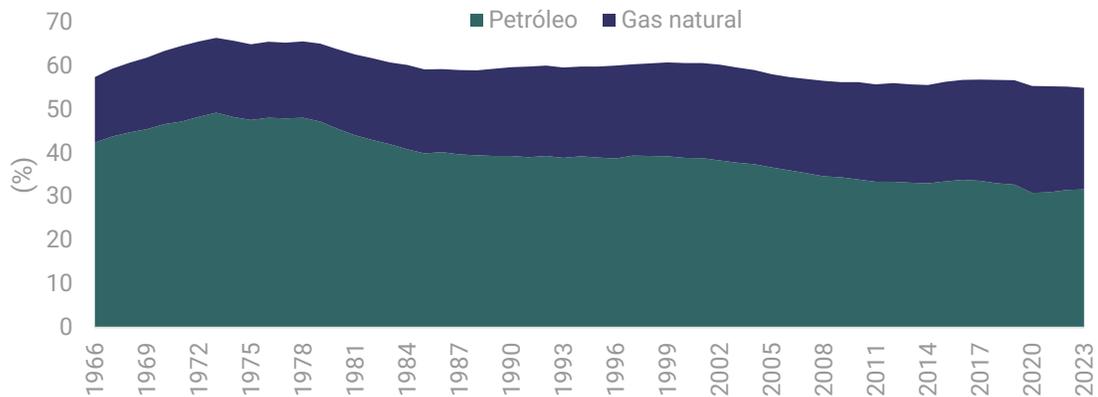


**Gráfico 7. Matriz energética global (2023)**



*Fuente: Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023. Construcción: Corficolombiana.*

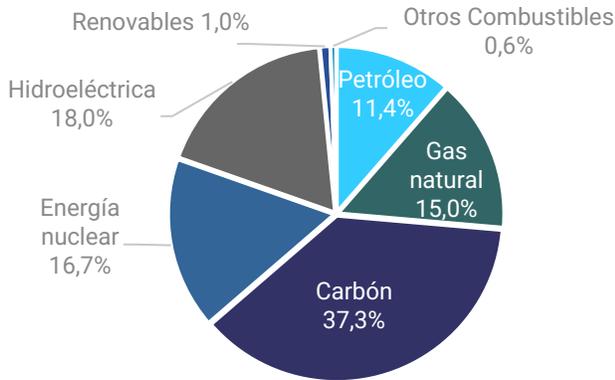
**Gráfico 8. Participación del petróleo y gas natural en la matriz de consumo de energía mundial**



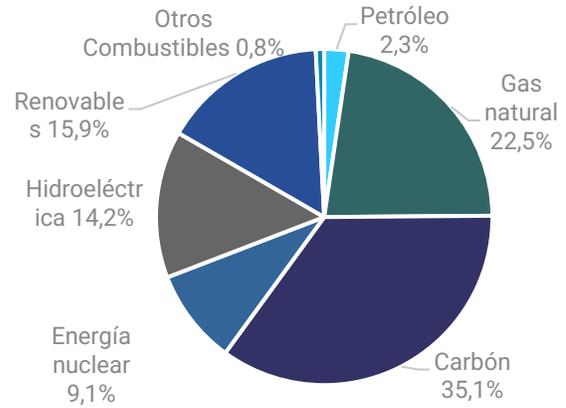
*Fuente: BP – Statistical Review of World Energy 2023, Energy Institute Statistical Review of World Energy 2024. Construcción: Corficolombiana.*

A diferencia de la matriz energética total, el petróleo (sus combustibles líquidos derivados) ha representado desde 1990 menos del 12% de la composición de la matriz eléctrica a nivel global (Gráficos 9 y 10). En efecto, ha seguido una senda decreciente que lo ha llevado a participar apenas del 2,3% de la generación de electricidad total en 2023, siendo reemplazado en parte por la utilización de gas natural. En este sentido, mientras que en 1990 el gas natural era responsable de la generación del 15% de la electricidad a nivel mundial, para 2023 participó en un 22,5%. **Si bien lo anterior significa que el 60% de la generación de electricidad aún proviene de la energía térmica, la composición de esta generación térmica ha evolucionado positivamente en lo medioambiental.**

**Gráfico 9. Matriz eléctrica global (1990)**



**Gráfico 10. Matriz eléctrica global (2023)**



*Fuente: BP - Energy Institute Statistical Review of World Energy 2024. Construcción: Corficolombiana.*

Por lo pronto: la demanda de combustibles fósiles eventualmente disminuirá, y el último barril de petróleo que se venderá provendrá de quienes puedan obtener beneficios a precios bajos (como en Medio Oriente). Mientras haya demanda, lo que un país no ofrezca, otro lo venderá, y las emisiones de CO<sub>2</sub>eq asociadas a ese combustible se mantendrán sin importar quién lo produzca o venda. **En este contexto, sería poco práctico que Colombia dejara de exportar sus hidrocarburos mientras siga existiendo una demanda mundial por ellos**

### 1.3. La importancia del gas natural en la transición energética

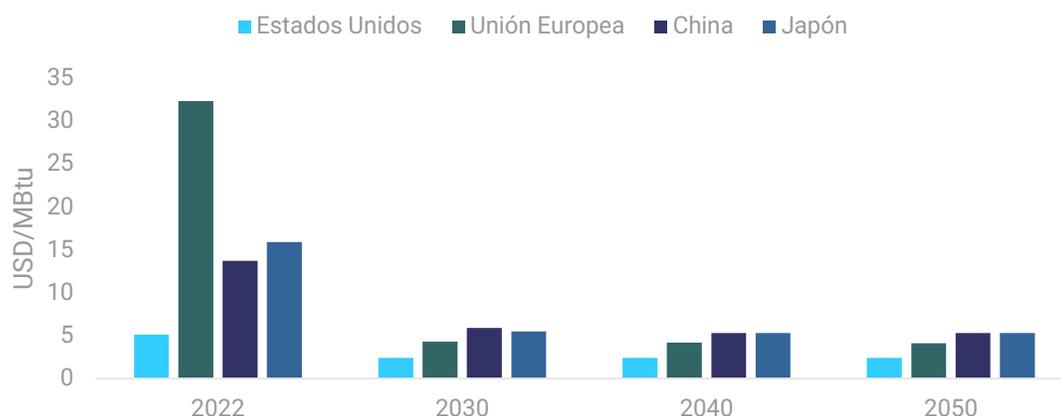
Según Vaclav Smil en su informe sobre el gas natural en el nuevo mundo energético (Smil, 2021), hay una razón principal por la cual tanto los países desarrollados como los emergentes deberán, al menos, mantener e incluso aumentar su producción de gas natural en los próximos años: este recurso es esencial para "limpiar" la matriz de generación eléctrica y para desarrollar nuevas capacidades de generación que respalden la creciente proporción de energías renovables. Además, el gas natural es económico y se utiliza como fuente de energía en diversos procesos productivos.

Desde el último cuarto del siglo pasado, la industria del gas natural ha actuado como un puente entre el consumo de carbón y petróleo y fuentes y tecnologías menos contaminantes, dado que el gas natural emite menos CO<sub>2</sub> que el carbón y los combustibles líquidos derivados del petróleo. Según el Ministerio para la Transición Ecológica de España, el gas natural es el combustible fósil con menor impacto medioambiental en todas sus etapas: extracción, elaboración, distribución y utilización (España, s.f.).

Como se muestra en la Tabla 2, se puede lograr una reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>eq al aumentar la participación del gas en las matrices energéticas en comparación con otros combustibles fósiles. Utilizamos el caso de Israel como referencia para destacar la importancia de mantener el autoabastecimiento de gas en Colombia (ver “El gas como oportunidad de descarbonización: ¿en peligro?” en la sección 3.3.).

La confiabilidad y respaldo que aporta el gas natural—atributos que faltan en las fuentes de energía renovables no convencionales—, junto con su eficiencia de costos y menor contaminación relativa, lo convierten en un combustible ideal para la transición energética. Es importante señalar que, en este contexto, el término "combustible de transición" se refiere a que emite menos CO<sub>2</sub> que otros combustibles fósiles, aunque no es completamente “limpio” en términos de emisiones<sup>14</sup>. Aquellas fuentes de energía que generan bajas emisiones de CO<sub>2</sub> o que no generan CO<sub>2</sub>, pero producen otros gases de efecto invernadero, se consideran energías o combustibles de transición. Para las economías desarrolladas que buscan alcanzar un escenario de emisiones cero para 2050, se espera que los precios del gas natural varíen entre -7,7% y +5,3% en términos reales anuales entre 2030 y 2040 (Gráfico 11).

**Gráfico 11. Precio gas natural (USD/MBtu) para alcanzar la meta de cero emisiones**



*Fuente:* International Energy Agency (2023), Net Zero by 2050, IEA, Paris. \* MBtu = Millones de Unidades Térmicas Británicas. Construcción: Corficolombiana.

De acuerdo con la IEA, entre el año 2022 y 2030, el gas natural tendrá un papel fundamental durante la transición energética. Dentro de los combustibles fósiles, será el principal generador de energía eléctrica, tendrá la mayor participación en la capacidad de generación eléctrica y tendrá la mayor participación en la oferta de energía (Tabla 3).

<sup>14</sup> Vale la pena precisar que el uso del gas natural como fuente de energía está relacionado con la emisión de metano (CH<sub>4</sub>) durante el proceso de extracción, procesamiento y uso (quemándolo). Si bien tiene un tiempo de vida en la atmósfera más corto que el CO<sub>2</sub>, es capaz de producir un efecto invernadero más potente, por lo que al transitar hacia el gas debe garantizarse el buen estado de la infraestructura en todo momento.

**Tabla 3. Generación de electricidad, capacidad de generación y oferta energética mundial para lograr el NZE en 2050**

Generación de electricidad (TWh)						Participación (%)			TACC (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
<b>Generación total</b>	26 922	26 778	38 207	59 111	76 838	100,0	100,0	100,0	3,6	3,6
Renovables	7 153	7 660	22 532	50 459	68 430	29,0	59,0	89,1	11,4	7,6
Fósiles con CCUS	1	4	220	847	996	-	0,6	1,3	49,3	20,2
Gas Natural con CCUS	-	-	64	301	353	-	0,2	0,5	n.a.	n.a.
Fósiles sin CCUS	16 941	16 382	11 066	1 121	158	61,0	29,0	0,2	-3,8	-14,3
Gas Natural sin CCUS	6 314	6 200	5 943	1 119	158	23,0	15,6	0,2	-0,4	-11,5

Capacidad de Generación (GW)						Participación			TACC (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
<b>Capacidad total</b>	7 484	7 795	16 180	29 354	36 956	100,0	100,0	100,0	7,6	5,3
Renovables	2 707	2 994	11 008	23 331	30 275	38,0	68,0	81,9	13,9	8,0
Fósil con CCUS	0	1	50	203	241	-	0,3	0,7	47,9	20,1
Gas Natural con CCUS	-	-	14	72	89	-	0,1	0,2	n.a.	n.a.
Fósil sin CCUS	4 351	4 368	3 423	1 710	892	56,0	21,2	2,4	-2,4	-5,2
Gas Natural sin CCUS	1 788	1 829	1 746	1 088	611	23,0	10,8	1,7	-0,5	-3,6

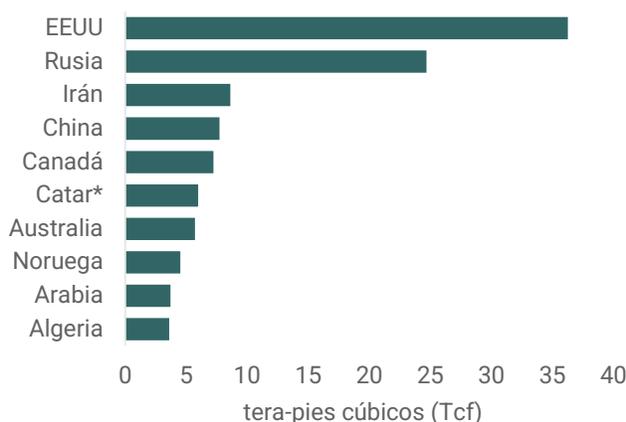
Oferta Energética (EJ)						Participación (%)			TACC (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
<b>Oferta total</b>	612	587	573	528	541	100,0	100,0	100,0	-0,2	-0,3
Renovables	67	69	166	306	385	12,0	29,0	71,2	9,2	5,9
Gas Natural con CCUS	139	136	112	40	14	23,0	19,5	2,6	-1,9	-7,3
Gas Natural sin CCUS	-	1	6	13	18	-	1,0	3,3	19,6	10,1

*Fuente: International Energy Agency, Net Zero by 2050, IEA, Paris 2021, Net Zero Roadmap 2023 Update, Paris 2023. Construcción: Corficolombiana. CCUS: Captura, utilización y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (siglas en inglés).*

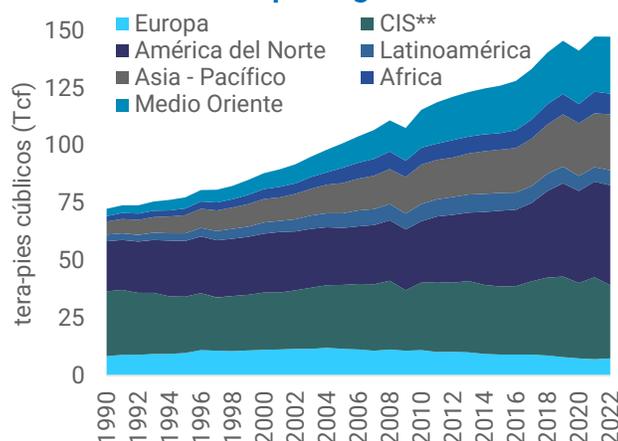
Dada la importancia del gas natural en el contexto de la transición energética, identificamos a los principales agentes que intervienen en su producción. Según cifras de 2023, Estados Unidos es el mayor productor de gas natural con 38,3 billones (millones de millones) de pies cúbicos y una participación de 24,8% del total de la producción, seguido de Rusia, que produjo 23,6 billones de pies cúbicos y aportó el 15,3% de la producción total. En tercer lugar, Irán participó con el 6,7% de la producción (10,3 billones de pies cúbicos) (Gráfico 12).

Con esto, es importante resaltar que la producción de gas natural ha aumentado de manera significativa desde la década de los noventa, cuando la producción rondó los 71 billones de pies cúbicos (millones de millones o teras,  $10^{12}$ ). Para 2021, la producción de gas natural se había duplicado respecto a 1990, superando los 142 billones de pies cúbicos. En 2023, la producción de gas superó los 154 billones de pies cúbicos (Gráfico 13). Entre tanto, el consumo mundial de gas se ha intensificado en todas las regiones desde la década de los noventa.

**Gráfico 12. Principales productores de gas natural en 2022**



**Gráfico 13. Evolución de la producción de gas natural por región**



**Fuente:** Enerdata, World Energy & Climate Statistics, 2023. **Construcción:** Corficolombiana. \* Información del año anterior. \*\* CIS: Commonwealth of Independent States. Tera-pies cúbicos (Tcf) =  $10^{12}$  pies cúbicos.

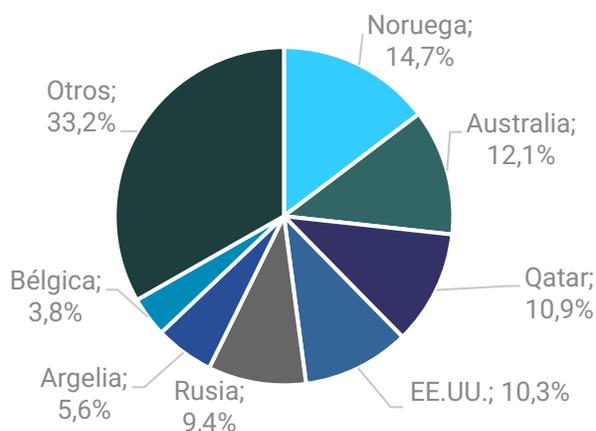
Ahora bien, la composición de la participación dentro de las reservas de gas natural dista de la mencionada anteriormente. La información del *Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023*, indica que las reservas probadas de gas natural se concentran en la región del Medio Oriente y en Rusia. Rusia tiene el 19,9% de las reservas probadas a nivel mundial, seguido de Irán (17,1%), Qatar (13,1%) y Turkmenistán (7,2%)<sup>15</sup>.

Por otro lado, durante 2023 los principales países exportadores de gas natural<sup>16</sup> fueron Noruega con el 14,7% de la participación en las ventas globales, Australia con el 12,1% y Qatar con el 10,9% (Gráfico 14). En cuanto a la evolución del consumo desde 1990 (Gráfico 15), este se ha estabilizado en las economías desarrolladas, y no ha parado de crecer en las economías en desarrollo.

<sup>15</sup> La información de Reservas Probadas de Gas Natural del informe citado, corresponden al cierre del año 2020.

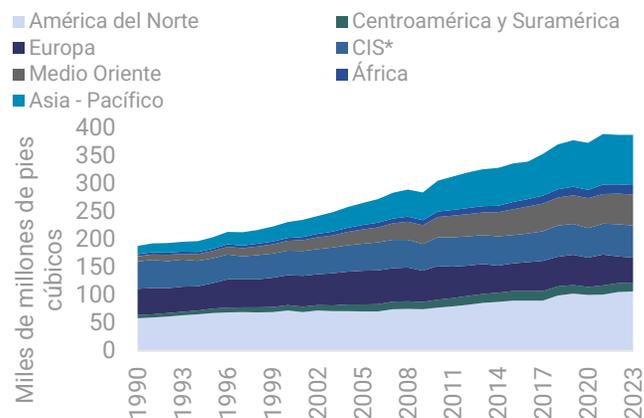
<sup>16</sup> Incluye gas natural licuado y gas natural en estado gaseoso. Los gases exportados no necesariamente se producen en el país que exporta, este es el caso de Bélgica y de "otros" en el gráfico 14.

**Gráfico 14. Principales exportadores de gas natural (2023)**



**Fuente:** Trademap. Construcción: Corficolombiana. Incluye exportaciones de gas natural licuado y gas natural en estado gaseoso.

**Gráfico 15. Evolución del consumo de gas natural por regiones**



**Fuente:** BP - Energy Institute Statistical Review of World Energy 2024. Construcción: Corficolombiana. \* CEI: Azerbaiyán, Kazajistán, Rusia, Turkmenistán, URSS, Uzbekistán y otros miembros CEI.

## 1.4. Requerimientos de la transición energética

Según la IEA, en los últimos años, el sector energético global ha sido responsable de aproximadamente tres cuartas partes de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Por lo tanto, la transición energética debe resultar en una disminución de las emisiones netas, lo que permitirá limitar el calentamiento global. Sin embargo, no hay consenso sobre la velocidad de esta reducción: mientras la IEA afirma que la demanda de combustibles fósiles alcanzará su pico en 2030 (IEA, 2023), la OPEP sostiene que la demanda de petróleo y gas natural seguirá en aumento hasta 2045 (OPEC, 2023).

Al identificar el resultado global esperado, las medidas que cada país adopte deben considerar su contribución a las emisiones globales y la participación del sector energético en sus emisiones internas. Aunque este informe se centra en la transición energética, los compromisos de reducción de emisiones no se limitan a este sector. En el caso de Colombia, por ejemplo, aproximadamente tres cuartas partes de las emisiones brutas de GEI provienen de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU).

Además, es esencial garantizar la financiación de las medidas que los países deben implementar para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones; de lo contrario, las intenciones no se traducirán en acciones efectivas. Actualmente, existe un déficit significativo en la financiación para la transición energética, que no podrá resolverse a menos que se aborde de manera multilateral. En este contexto, es importante tener en

cuenta que las emisiones de GEI han estado históricamente concentradas en las potencias económicas y en las economías de mayor crecimiento, actualmente representadas por EE. UU., China, India e Indonesia.

En este capítulo, revisaremos la justificación y los requisitos que debe cumplir la transición (el qué). En el capítulo 2, abordaremos acontecimientos que pueden atenuar o agravar el proceso de transición y su priorización. Finalmente, en el capítulo 3, analizaremos la implementación prevista de la transición a nivel mundial y en Colombia (el cómo).

A continuación, cuantificaremos el objetivo de reducción de gases de efecto invernadero (GEI). Parte de la solución al problema climático causado por su acumulación radica en disminuir estas emisiones mediante la transformación de los sistemas energéticos.

## **Reducción de emisiones netas de carbono requeridas y compromisos actuales**

Los compromisos internacionales actuales en materia ambiental se centran en el cumplimiento de los objetivos definidos en el acuerdo de París de 2015, destacándose el de mantener el incremento de la temperatura media del planeta por debajo de los 2°C (idealmente por debajo de los 1,5°C) en comparación con la temperatura de la era preindustrial. Para lograr este objetivo, se deben disminuir las emisiones netas de GEI, mediante medidas como la transición energética. Esta transición incluye el desarrollo acelerado de las energías renovables (IRENA, 2018), la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la mejora en la eficiencia energética. Lo anterior se justifica en el hecho de que alrededor de tres cuartas partes de las emisiones brutas de GEI a nivel global corresponden al sector energético.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) se celebra anualmente en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, conocida como la Conferencia de las Partes (COP). En general, el seguimiento de los logros y compromisos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, así como el estado de la financiación requerida, resulta desalentador:

**COP-26 (2021, Escocia):** El objetivo era convertir la década de 2020 en una década de acción climática. Se solicitó a las partes que revisaran y reforzaran sus contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) para finales de 2022. Se acordó que, para limitar el calentamiento global por debajo de los 1,5 °C, era crucial reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante esta década y casi eliminarlas para el final del siglo. Aunque se propuso un plazo para eliminar el carbón como fuente de energía, China e India se opusieron, argumentando la necesidad de un enfoque común pero diferenciado en la responsabilidad de la reducción de emisiones, priorizando su desarrollo económico. China anunció que alcanzaría la meta de carbono cero en 2060, mientras que India fijó su objetivo de descarbonización para 2070. Dado que ambos países representan aproximadamente un tercio de las emisiones de CO<sub>2</sub> y GEI, es evidente que su participación es esencial para abordar el problema a tiempo para 2050.

**COP-27 (2022, Egipto):** Los negociadores de la Unión Europea expresaron su preocupación por la falta de esfuerzos suficientes para cumplir con el acuerdo de Glasgow (COP-26), especialmente en países como China e India. La declaración final enfatizó la urgencia de frenar el aumento de las emisiones de GEI, pero no estableció la necesidad de una reducción drástica de las emisiones netas. La conferencia culminó con la creación de un fondo para ayudar a los países más vulnerables ante el cambio climático, pero la financiación de las inversiones necesarias para la mayoría de los países sigue siendo insuficiente.

Es importante recordar que los países desarrollados son los principales emisores de GEI, y actualmente, solo China y Estados Unidos representan el 35,5% del total de emisiones, lo que los obliga a liderar las iniciativas para combatir la crisis ambiental y respaldar el proceso de transición en economías vulnerables y de menor tamaño. El cumplimiento de los NDC de cada país requiere coordinación con el sector productivo y la ciudadanía. En el caso de Colombia, aunque existen esfuerzos en la misma dirección, como el impuesto al carbono en el sector de petróleo y gas, la taxonomía verde y los compromisos de empresas emisoras de valores, no parece haber una articulación suficiente. En el anexo 6 se describen estos compromisos, aunque en 2023 se ha observado un relajamiento en sus alcances.

**COP-28 (2023, Dubái):** Esta edición se centró en la acción colectiva, teniendo en cuenta la equidad y sostenibilidad necesarias en la lucha contra el cambio climático. Entre los anuncios destacados se incluyen: 1) reafirmación del compromiso de limitar el calentamiento global a 1.5 °C, 2) aumento de los compromisos de financiación climática para países en desarrollo, 3) avances en la creación del Fondo para Pérdidas y Daños, 4) compromisos más firmes para eliminar gradualmente los combustibles fósiles, 5) mayor inclusión de jóvenes y pueblos indígenas en la acción climática, 6) énfasis en la protección de la biodiversidad y los ecosistemas, y 7) acuerdos sobre medidas sectoriales específicas, como la descarbonización de industrias y el aumento de la eficiencia energética.

El aumento de los compromisos de financiación climática es crucial, y dado el desarrollo del proceso de transición a nivel global, el enfoque debe estar en cómo "enderezar" el camino hacia 2030 para evitar que el incumplimiento de las metas parciales se convierta en un daño irreversible. Las soluciones ya han sido identificadas, por lo que la discusión sobre el "cómo" debe centrarse en la financiación y la inclusión del nuevo trilema expuesto por el FMI: transición energética, sostenibilidad fiscal y factibilidad política. Además, reconociendo que, si seguimos así, no se cumplirá la meta de 1,5 °C, se requiere un mayor reconocimiento de la necesidad de colaboración y coordinación internacional para alcanzar este objetivo.

**COP-16 (Cali, Colombia):** Entre los objetivos de la COP-16 se destacan: 1) fortalecimiento de los compromisos climáticos mediante la revisión de las NDC, 2) promoción de la financiación de proyectos climáticos en países en desarrollo, 3) adaptación y resiliencia ante el cambio climático, 4) transición energética, incluyendo la

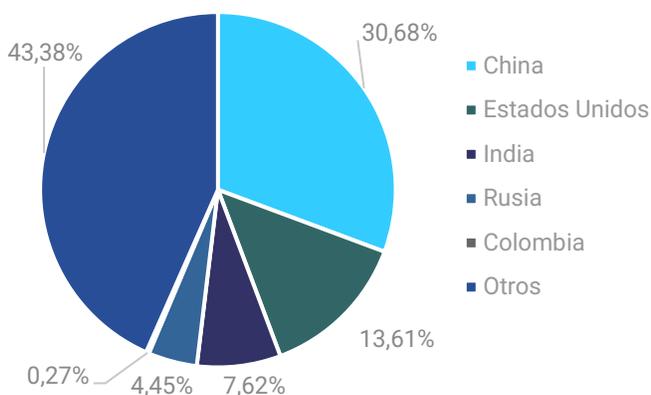
descarbonización de sectores clave, 5) justicia climática y 6) acciones locales, reconociendo el papel de las ciudades y comunidades en la lucha contra el cambio climático.

En este contexto, es importante destacar la posición de **Colombia**, ya que las emisiones de su sector energético representan apenas un tercio del total. Según cifras de Our World in Data para 2021, se emitieron 54,6 mil millones de tCO<sub>2</sub>eq (toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente) de gases de efecto invernadero (GEI), y Colombia contribuyó con solo el 0,55%. En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, se emitieron 41,1 mil millones de tCO<sub>2</sub>, con una participación colombiana del 0,54%. Específicamente, en el ámbito del sector energético y la industria (sin considerar el uso del suelo), la participación del país en 2021 fue del 0,25%, lo que indica que el problema en Colombia no reside principalmente en este sector.

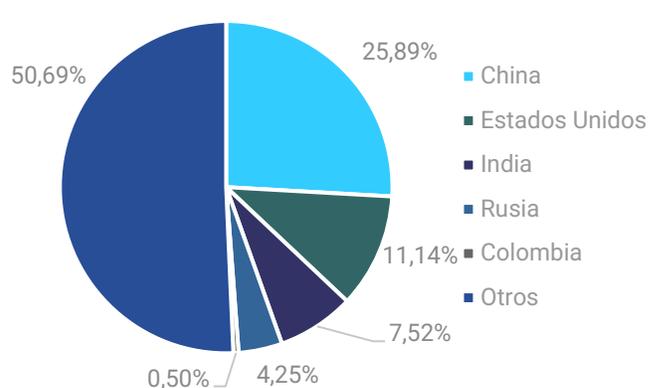
Mientras tanto, los mayores emisores de CO<sub>2</sub> vinculados al sector energético y la industria en 2022 fueron China, Estados Unidos, India y Rusia, que juntos representaron el 53,4% de las emisiones (Gráfico 16). En términos de emisiones totales de GEI, estos países abarcaron el 48,8% del total (Gráfico 17).

Es evidente que, sin la colaboración de estos países en la reducción de emisiones, no se podrá abordar el problema global, subrayando la irrelevancia de Colombia en el escenario mundial. Esto no significa que el país no deba tomar medidas para mitigar su contribución al problema, pero las acciones y compromisos deben tener en cuenta la magnitud de su aporte y el hecho de que el sector energético representa menos de un tercio. Sin un compromiso en las actividades agropecuarias y el cambio en el uso del suelo, no habrá un cambio significativo en la limitada contribución de Colombia al problema global. Asimismo, el país puede contribuir a través de la compensación de emisiones, mediante proyectos de reforestación que absorban CO<sub>2</sub> (ver “Otros mecanismos: Impuestos y compensación de emisiones”, más adelante en esta sección).

**Gráfico 16. Participación en las emisiones de CO<sub>2</sub> (2022)**      **Gráfico 17. Participación en las emisiones totales de GEI (2022)**



Fuente: OurWorldinData. Construcción: Corficolombiana.



Fuente: OurWorldinData. Construcción: Corficolombiana.

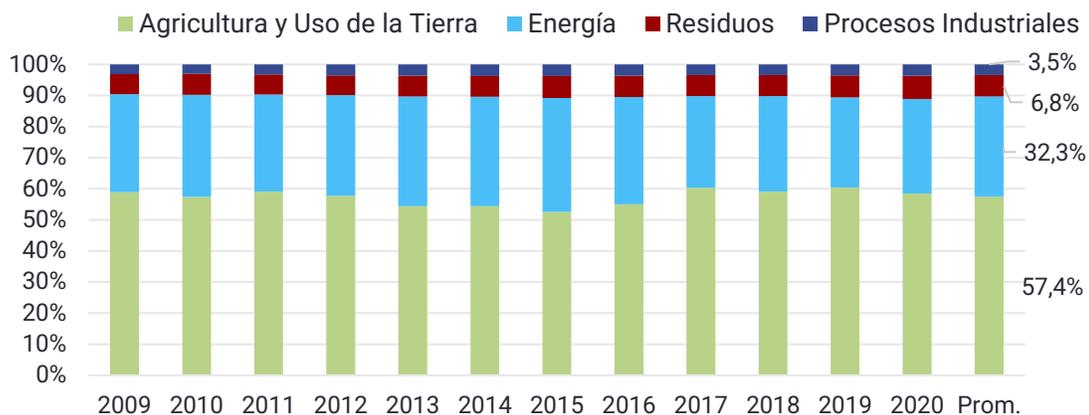
En relación con las cifras de emisiones de CO2 y GEI (en términos de CO2 equivalente), es fundamental recordar que la carbono-neutralidad implica alcanzar cero emisiones netas, ya sea reduciendo las emisiones o compensándolas (absorbiendo CO2 equivalente). Si tuviéramos tecnologías de captura masiva de carbono capaces de compensar las emisiones brutas de GEI de todos los sectores, incluido el de petróleo y gas, la transición no sería necesaria.

Sin embargo, ante la falta de tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) y la ausencia de un desarrollo inmediato que permita mantener los hábitos actuales de consumo energético sin cambiar la matriz, la transición energética hacia fuentes renovables es el camino más realista para reducir las emisiones netas de GEI y evitar una crisis climática.

En cada país, las reducciones esperadas del sector energético están alineadas con los compromisos de reducción de GEI totales para cumplir con el Acuerdo de París, conocidos como contribuciones nacionalmente determinadas (NDC). En el caso de Colombia, este compromiso, establecido en 2020 (y actualizado cada cinco años), incluye tres componentes: mitigación de GEI, adaptación al cambio climático y medios para implementar políticas y acciones para un desarrollo bajo en carbono, adaptado y resiliente al clima.

En su NDC, Colombia se compromete a no superar las 169,44 MtCO2eq en 2030, lo que implica una reducción del 51% de las emisiones totales proyectadas para ese año en un escenario de referencia. Según este acuerdo, la disminución de las emisiones en Colombia comenzaría entre 2027 y 2030, con un objetivo de alcanzar la carbono-neutralidad a mediados de siglo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020). Sin embargo, al igual que en la mayoría de los países, la financiación de las inversiones necesarias aún no está garantizada.

**Gráfico 18. Participación por actividad en las emisiones de GEI de Colombia**

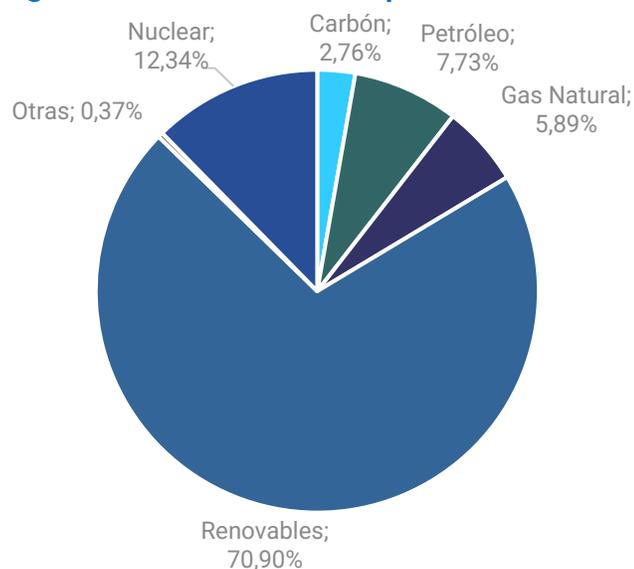


*Fuente: United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Construcción: Corficolombiana.*

## Redistribución de la matriz energética e inversiones requeridas <sup>17</sup>

En el campo de la energía eléctrica global, actualmente la gran mayoría depende de la generación centralizada de energía basada en combustibles fósiles (61,2% de la generación y el 56,0% de la capacidad de generación a nivel mundial en 2020). Para 2050 las fuentes renovables deben proveer entre el 70% al 85% de la electricidad, mientras que el carbón deberá desaparecer de la matriz eléctrica para 2050 (IPCC, 2023). Asimismo, en línea con la IPCC, el escenario de cero emisiones netas para 2050 de la IEA (sector energético y aplicaciones industriales únicamente), asume un incremento en la participación relativa de la electricidad dentro del consumo energético y una mayor participación de renovables en la generación eléctrica.

**Gráfico 19. Matriz de generación eléctrica ideal para escenario de 0 emisiones netas \***



*Fuente: International Energy Agency (2023), Net Zero by 2050, IEA, Paris. Construcción: Corficolombiana. \* Una composición de varias posibles en la matriz eléctrica.*

**Inversiones requeridas a nivel global:** De acuerdo con el informe “Perspectivas de la transición energética mundial 2022” (IRENA, 2022), el aumento anual en la capacidad de energías renovables requerido es tres veces la tasa actual para lograr cumplir los objetivos ambientales. Así mismo, se estima que 0,7 billones de dólares de inversiones en combustibles fósiles deberían dirigirse a tecnologías de transición energética (anual), con inversiones totales de 5,7 billones al año hasta 2030. Esto demuestra que el papel del G7 y G20 no puede limitarse al cumplimiento de los límites de descarbonización; también son necesarios compromisos en materia de financiación.

<sup>17</sup> En este texto, al referirnos a la matriz energética, especificamos si hablamos de la oferta total de energía y sus fuentes primarias, o del consumo final de energía, donde la electricidad es solo una fracción. Omitimos las presentaciones que incluyen la electricidad como parte de la oferta, ya que esto complica el análisis. Es importante señalar que reducir el consumo de combustibles líquidos y gas natural vehicular implica un aumento relativo en el consumo eléctrico (flota de vehículos eléctricos). Sin embargo, la electrificación de la flota contribuye a la descarbonización global solo si la generación eléctrica adicional proviene de fuentes no fósiles.

Según estimaciones de la OCDE (2018), para cumplir los objetivos del Acuerdo de París, los miembros del G20 deben invertir alrededor de 6,9 billones de dólares anuales en infraestructura hasta 2030, superando la estimación global de IRENA de 5,7 billones. Además, la OCDE señala que una infraestructura respetuosa con el medio ambiente es más eficiente energéticamente y podría generar ahorros en combustibles fósiles por un total de 1,7 billones de dólares al año en estos países. McKinsey, por su parte, estima que las inversiones anuales en sistemas energéticos y uso de la tierra (no solo en transición energética) ascenderán a 9,2 billones de dólares, 3,5 billones más que los 5,7 para energía (McKinsey, 2022). La IEA también estima que, para 2030, la inversión anual debería alcanzar los 4,5 billones de dólares, partiendo de los 1,8 billones estimados para este año (IEA, 2023). El anexo 2 ofrece un compendio de las estimaciones de inversión requeridas.

## Otros mecanismos: Impuestos y compensación de emisiones

A nivel global, existen tres mecanismos para abordar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI): 1) impuestos directos al carbono, 2) mercados voluntarios de bonos y créditos de carbono, y 3) mercados regulados de cupos y derechos de emisión, destacándose los sistemas de comercio de emisiones (SCE). El cobro por la emisión de GEI actúa como un incentivo para reducir las emisiones y desarrollar tecnologías de captura. En este contexto, los impuestos directos al carbono deben traducirse en esfuerzos ambientales o en la mitigación de los efectos adversos del cambio climático.

Recientemente, se han implementado impuestos verdes para mitigar el impacto de las emisiones. Un impuesto al carbono establece una tasa sobre las emisiones de GEI o el contenido de carbono equivalente en los combustibles fósiles, determinando así la viabilidad de los proyectos. Desde 2017, 42 países y 25 jurisdicciones subnacionales han establecido iniciativas de fijación de precios del carbono, con planes de expansión. La OCDE considera que estos precios son una estimación baja del daño causado por las emisiones de carbono (OCDE, 2018). En la Unión Europea, el precio del carbono casi se cuadruplicó en dos años, aumentando de 24,75 euros en enero de 2020 a 80 euros en diciembre de 2021, a pesar del impacto del COVID.

Es fundamental que, en un esfuerzo coordinado a través de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), se reconozca la eficiencia de las empresas para reducir emisiones y el tiempo que necesitan otras para hacerlo. Esto implica coordinar esfuerzos a nivel agregado para disminuir las emisiones. Este mecanismo se aplica en los mercados regulados, donde se intercambian cupos y derechos de emisión.

En la Unión Europea, el sistema de comercio de derechos de emisión (SCE), operativo desde 2005, establece un límite total de GEI que las empresas pueden emitir en un año. Si superan este límite, tienen dos opciones: i) pagar una multa o ii) comprar permisos de otros emisores, cada uno equivalente a una tonelada de dióxido

de carbono. Los participantes deben elegir entre implementar medidas internas de reducción de emisiones o adquirir unidades de emisión en el mercado regulado.

Las regiones que utilizan el mecanismo de SCE representan aproximadamente el 55% del PIB global y abarcan un tercio de la población mundial. Los países desarrollados han adoptado este esquema más rápidamente. En Latinoamérica, México es el único país con un SCE operativo, iniciando su fase piloto en 2020. En el futuro, se espera una mayor adopción, estandarización y comunicación entre estos mercados.

**En Colombia, se implementa un impuesto al carbono desde 2016, que grava el contenido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) de todos los combustibles fósiles**, incluidos los derivados del petróleo, el gas fósil y los combustibles sólidos utilizados en combustión. Además, existe un mercado voluntario de carbono en el que se pueden utilizar bonos y créditos para reducir el impuesto a pagar. En cuanto al mercado regulado, se ha establecido un Programa Nacional de Cupos Transables de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (PNCTE), actualmente en desarrollo. El futuro mercado de carbono regulado en Colombia se llamará “Sistema de Comercio de Emisiones RE”.

A lo largo de este documento, hemos señalado que las tecnologías de captura, almacenamiento y utilización de carbono (CCUS) aún no se han desarrollado suficientemente. Sin embargo, es importante recordar que las plantas, durante su crecimiento, capturan y fijan CO<sub>2</sub> de manera natural, lo que puede contribuir a la reducción de emisiones netas. Los bonos y créditos de carbono negociados en los mercados voluntarios certifican la absorción de carbono a través de proyectos de aforestación y reforestación, así como de otras tecnologías que logren certificar la captura y fijación de gases de efecto invernadero (GEI). Esta es una oportunidad que Colombia debería aprovechar. **Es importante aclarar que la validez de los bonos de carbono para compensar emisiones se refiere no al bosque actual, donde Colombia tiene cierta ventaja, sino a las nuevas plantaciones (aforestación) y reforestación que impliquen absorciones adicionales.**

## **Priorización: Transición Vs Seguridad**

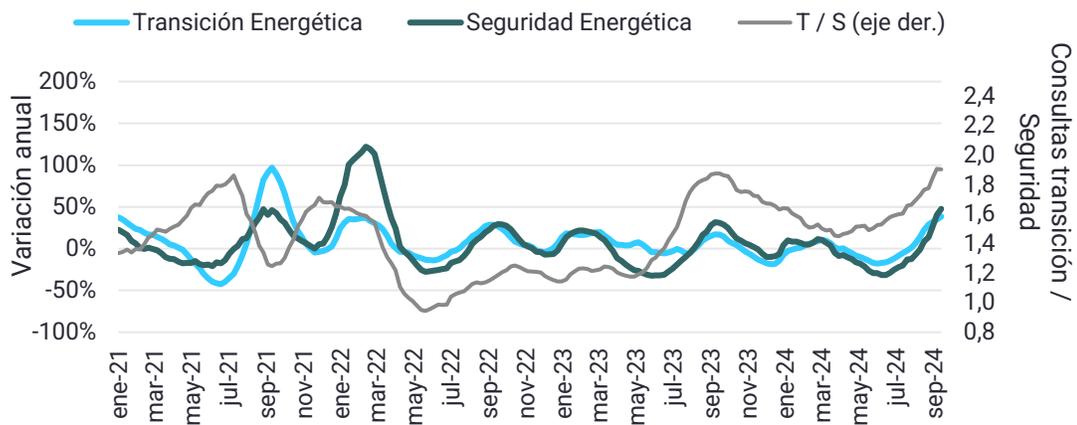
El desafío para la transición energética radica en implementar soluciones económicamente viables que no comprometan el desarrollo económico. La Agencia Internacional de Energía (IEA) define la seguridad energética como la "disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía a un precio asequible". A largo plazo, la seguridad energética se enfoca en realizar inversiones oportunas que suministren energía en línea con el crecimiento económico y las necesidades medioambientales. A corto plazo, se centra en la capacidad del sistema energético para reaccionar rápidamente a cambios repentinos en el equilibrio entre oferta y demanda (IEA, 2019).

Como se explorará en el Capítulo 2: Contexto Global de la Transición Energética, los recientes acontecimientos geopolíticos han elevado la importancia de la seguridad energética, enfatizando la necesidad de adaptarse a cambios inesperados en este equilibrio.

Así, la seguridad energética cobra mayor relevancia ante la necesidad de enfrentar riesgos y amenazas que puedan afectar el suministro, garantizando la disponibilidad a largo plazo y permitiendo el desarrollo económico y social. Los eventos recientes en Europa han suscitado interrogantes sobre la compatibilidad entre la seguridad energética y la transición, favoreciendo en el corto plazo la seguridad sobre la transición. Las búsquedas en Google de los términos "transición" y "seguridad energética" (ver Gráfico 20) indican que el interés por la seguridad y la soberanía energética aumenta en períodos de incertidumbre geopolítica, como ocurrió tras la invasión rusa a Ucrania. En la práctica, el abastecimiento de energía ha primado sobre el impacto ambiental, incluso con un regreso al uso del carbón. Esto sugiere que el diseño e implementación de la transición energética deben estar alineados con el logro y la preservación de la seguridad energética.

A nivel internacional, se habla del "trilema energético": transición energética versus seguridad y equidad energética, un concepto que está en proceso de adopción en Colombia. En este sentido, el Energy Transition Outlook 2023 de DNV señala que la necesidad de seguridad energética, impulsada por factores geopolíticos, ha llevado a un aumento en la producción local de energía y a un mayor uso de fuentes como el carbón y la energía nuclear.

**Gráfico 20. Búsqueda en Google de transición y seguridad energética (promedio móvil 3 meses)**



Fuente: Google Trends. Elaboración: Corficolombiana.

## 2. CONTEXTO GLOBAL DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

La historia de la humanidad puede interpretarse como un proceso de transición energética, que ha evolucionado desde la quema de leña y el uso de vehículos de tracción animal, pasando por el carbón, hasta el petróleo y sus derivados. En términos simples, la transición energética busca satisfacer el consumo final de energía minimizando la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y aumentando la participación de la energía eléctrica en dicho consumo (la definición completa se presenta en la introducción). Para reducir las emisiones de GEI, es necesario reemplazar los combustibles fósiles por fuentes y tecnologías menos contaminantes en la oferta energética total, lo que implica también ampliar y fortalecer la red eléctrica.

La disposición de cada país para implementar un proceso de transición energética, así como el tipo de proceso que adopte, depende de su realidad económica, objetivos estratégicos y el contexto global actual. Recientes acontecimientos, como la pandemia y el conflicto geopolítico entre Rusia y Ucrania, han alterado significativamente este panorama global.

### 2.1. La recuperación post COVID-19: un agravante para la transición energética

La pandemia del COVID-19 trajo consigo una serie de medidas con el fin de hacer frente a la crisis económica que se produjo. En particular, el sector energético mundial se vio afectado por las medidas de confinamiento durante el año 2020, reduciendo así el consumo de energía y por lo tanto las emisiones de CO<sub>2</sub>, que alcanzaron un nivel máximo de 36,6Gt en 2019 y disminuyeron en un 5,6%<sup>18</sup> en 2020. Sin embargo, esto solo fue una reducción a corto plazo de las emisiones mundiales, pues entre enero y julio de 2021, las emisiones de la generación eléctrica y la industria ya se encontraban en un mismo nivel o en un nivel superior al observado durante el mismo periodo en 2019, creciendo así más del 6% con respecto a 2020.

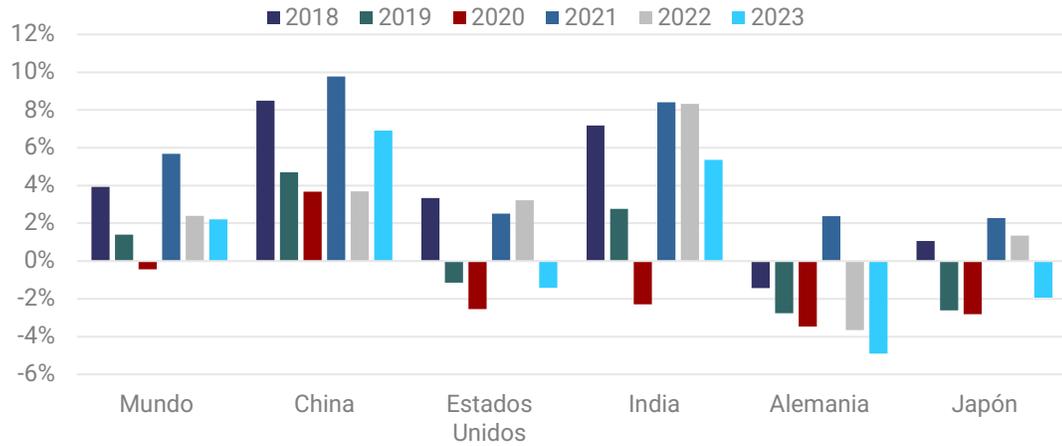
En cuanto a la demanda mundial de energía, según *British Petroleum* (BP, 2021), esta se redujo en un 4,5% en 2020, cuando Estados Unidos e India registraron los mayores descensos en su consumo. En contraste, en 2021 la demanda energética se recuperó a medida que la economía mundial se recuperaba del COVID-19, dándose así un crecimiento en la demanda mundial de energía de 5,8%, alcanzando niveles por encima de los prepandemia en un 1,3%. Mientras tanto, de acuerdo con la EIA (IEA, 2022), la demanda de electricidad decreció solo un 0,4% en 2020, y en 2021 creció un 5,7%, superando más de 1.390 teravatio-hora (TWh)<sup>19</sup> el consumo de 2019, tal como se observa en el gráfico 21, el cual muestra el consumo de energía eléctrica de los últimos años, incluyendo a los cinco países que presentaron la mayor demanda.

---

<sup>18</sup>La reducción anual de emisiones de CO<sub>2</sub> debería ser de 7,6% cada año entre 2020 y 2030 para lograr contener el aumento de la temperatura en 1,5°C según el informe de Brechas de Emisiones (2019) elaborado por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).

<sup>19</sup>Vatio-Hora (Wh por sus siglas en inglés): Unidad de energía expresada en forma de potencia por tiempo, donde la potencia es el trabajo realizado por segundo. Recordemos que la energía es la cantidad total de trabajo realizado. Tal como con las otras unidades utilizadas, estas son escaladas de acuerdo con el sistema internacional de unidades, donde 1 teravatio-hora (TWh) equivale a 10<sup>12</sup>Wh.

**Gráfico 21. Demanda de energía eléctrica, crecimiento anual**



*Fuente: Ourworldindata.org. Construcción: Corficolombiana.*

Durante la recuperación en la demanda de 2021, la energía eólica y solar tuvieron una participación del 10,2% en la generación de energía eléctrica, superando así, la contribución de la energía nuclear. El carbón siguió siendo el combustible dominante para la generación de energía, aumentando su participación al 36% frente al 35,2% en 2020, mientras que el gas natural en la generación eléctrica aumentó 2,6% en 2021, participando del 23% de la generación.

Respecto a la demanda de petróleo, su consumo aumentó en 5,3 millones de barriles por día, (Mbd) en 2021, dándose el mayor crecimiento en Estados Unidos (1,5 Mbd), China (1,3 Mbd) y la UE (570.000 bd). En cuanto a la demanda de gas natural, esta creció un 5,3% en 2021, superando los niveles prepandemia (BP, 2022).

En un contexto de recuperación en marcha e inflación al alza, la crisis energética mundial se agudizó debido a la invasión rusa a Ucrania en febrero de 2022, y su impacto adverso sobre la cadena de suministro global, especialmente sobre los *commodities* agrícolas y energéticos. Este evento puso de manifiesto la necesidad de contar con mercados estables y cadenas de suministro resilientes, lo cual no fue el caso durante el año posterior al inicio de la guerra entre Rusia y Ucrania.

## 2.2. La invasión rusa a Ucrania

La invasión de Rusia a Ucrania que tuvo lugar el 24 de febrero del 2022 supuso una disrupción sin precedentes en el mercado energético global. El conflicto llevó a varios países a adoptar paquetes de sanciones en contra de Rusia, entre los que se destacan los ocho paquetes de sanciones aprobados por la Unión Europea (el último adoptado en octubre de 2022) sobre los sectores financiero, comercial, energético, de transporte, tecnológico y de defensa, principalmente.

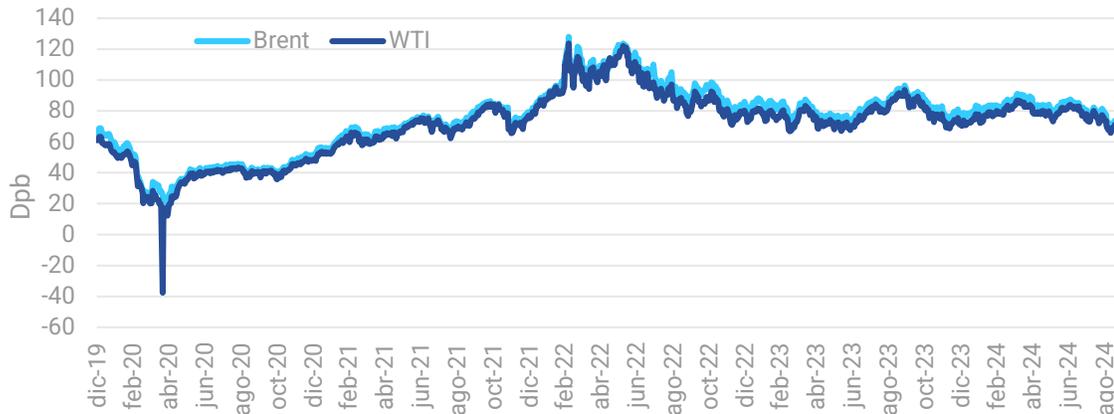
En cuanto al sector energía, se prohibieron las importaciones de carbón, así como la importación por vía marítima de crudo y de productos petrolíferos rusos -con excepciones limitadas-, la exportación a Rusia de bienes y tecnologías de la industria de refinación de petróleo, junto con nuevas inversiones en el sector en Rusia. Adicionalmente, se implementó un mecanismo de limitación de los precios del petróleo ruso, que tiene como objetivo reducir los ingresos rusos provenientes de la exportación de su petróleo y evitar al mismo tiempo un impacto en los precios mundiales.

A pesar de estas medidas, la agresión hacia Ucrania continuó en parte porque la dependencia del gas ruso que tienen los países europeos impide mayores sanciones. Como consecuencia, el mercado energético a nivel global ha reconfigurado las cadenas de suministro energético, probando una vez más la importancia de contar con soberanía energética para moderar los impactos de choques internacionales prolongados. En el desarrollo de este apartado, nos centraremos en el análisis de los efectos del conflicto en términos de seguridad energética y suministro energético global.

En primer lugar, Rusia juega un papel crucial en materia de suministro energético, al ser uno de los principales países productores de crudo en el mundo, junto con Arabia Saudita y Estados Unidos. En línea con esto, fue el mayor exportador de combustibles fósiles del mundo en 2021, lo que llevó a los ingresos del petróleo y gas natural a representar el 45% del presupuesto de ese país. Además, cuenta con una amplia capacidad de oleoductos, poliductos y gasoductos para exportación. En el caso del crudo, tiene la capacidad para satisfacer el 10% de la demanda de Europa, con exportaciones de 750 kbped (miles barriles de petróleo equivalente diario) en el 2021 (IEA, 2022).

Las sanciones impuestas desde el inicio de la guerra llevaron a un aumento significativo en el precio de los combustibles, lo que se sumó a los problemas en el suministro luego de la recuperación económica mundial después de la crisis por el COVID-19. El gráfico 22 muestra la evolución reciente del precio de las referencias Brent y WTI. En marzo de 2022 las cotizaciones marcaron niveles por encima de los 120 dpb (dólares por barril) y buena parte del primer semestre de 2022 (1S22) se mantuvieron cerca a máximos del último lustro. Si bien se observaron retrocesos en las cotizaciones desde julio de 2022, los precios continuaron moviéndose entre los 60 y 95 dpb.

**Gráfico 22. Precio Brent -WTI (dpb)**



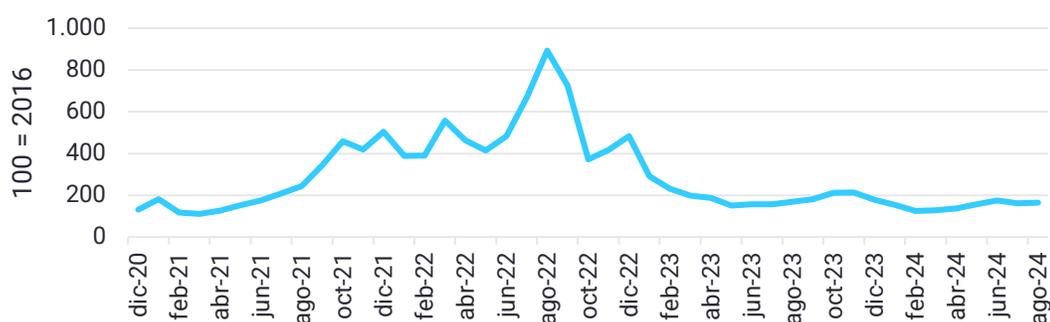
*Fuente: Refinitiv Eikon. Dpb: dólares por barril.*

Las presiones alcistas en los precios del crudo por los desbalances generados en la oferta llevaron a varios países a liberar reservas estratégicas en 1S22. En marzo de 2022, los países miembros de la IEA entre los que se encuentran Estados Unidos, Reino Unido, Japón y Australia, se comprometieron a liberar 62,7 millones de barriles de reservas de petróleo de emergencia. En abril, acordaron poner a disposición otros 120 millones de barriles de las reservas de emergencia, lo que coincidió con la liberación de barriles adicionales de la Reserva Estratégica de Petróleo de los Estados Unidos (*Energy Information Administration, 2022*).

Entre tanto, lejos de disminuir sus ventas externas de crudo tras las sanciones impuestas en su contra, Rusia encontró en países como China e India socios comerciales dispuestos a demandar el suministro embargado por los países de Occidente. Así, gran parte del gas que habría ido a Europa se desvió al mercado asiático. En medio del conflicto, el gobierno chino argumentó que el petróleo y el gas debe asegurarse para mantener la industria en pleno funcionamiento, razón por la cual aumentaron sus compras de hidrocarburos rusos.

En cuanto al gas natural, Rusia es uno de los mayores productores a nivel mundial junto con Estados Unidos y cuenta con las mayores reservas en el mundo. Asimismo, es el mayor exportador de este *commodity* con ventas externas que representaron el 35% del suministro de gas en Europa en 2021 (IEA, 2022). El gráfico 23 muestra el comportamiento del precio del gas natural en Europa, EE. UU. y Japón desde el cierre de 2020, evidenciando el efecto de la guerra sobre los precios internacionales del gas, que experimentaron un pico en agosto de 2022. El incremento de la demanda para enfrentar el invierno llevó la referencia europea a marcar un máximo de 306 euros/megavatio-hora. Desde entonces los precios han retrocedido hasta niveles similares a los observados al cierre del 2021, antes del inicio del conflicto.

**Gráfico 23. Índice de Gas Natural (FMI) \***



*Fuente:* Fondo Monetario Internacional. *Construcción:* Corficolombiana. \* Incluye índices europeos, estadounidenses y japoneses.

Ahora bien, como lo mencionamos previamente, la dependencia europea del gas proveniente de Rusia resulta en debilidad para la imposición de sanciones más profundas y contundentes. El siguiente gráfico muestra la proporción de gas procedente de Rusia para los 27 países que componen la Unión Europea. En este se puede observar que previo al inicio del conflicto, las importaciones de gas alcanzaron un máximo del 54% y un mínimo del 6%, luego de casi un año después de haber iniciado la guerra (Gráfico 24). Esto puso de manifiesto un reto mayor para la sustitución del gas ruso desde otras geografías y de cómo la dependencia del gas ruso explicó el aumento exorbitante en los precios de la energía. En consecuencia, la Unión Europea estuvo fuertemente afectada debido a su alta dependencia energética de Rusia.

En suma, la guerra Rusia – Ucrania generó una crisis energética global y evidenció las implicaciones para los países de no contar con soberanía energética. En buena medida, la fragilidad europea, creada por la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles –siempre necesarios, inclusive durante una transición energética–, generó un choque sin precedentes para la economía de dicha región. Así, la experiencia europea hizo explícita la necesidad de contar con un abastecimiento autónomo de gas, o por lo menos contar con sustitutos para garantizar en primer lugar la seguridad energética y después sí considerar los objetivos de cero emisiones globales de GEI en el largo plazo.

**Gráfico 24. Proporción de gas importado de Rusia por los 27 países de la Unión Europea**



*Fuente: Bruegel. Construcción: Corficolombiana.*

### 2.3. Impacto sobre el mercado y la seguridad energética

La Unión Europea se ha propuesto reducir sus emisiones en el sector energético e industrial en un 61% para 2030, en comparación con los niveles de 2005, y en un 40% en los sectores de transporte, construcción y agricultura. Sin embargo, el aumento en los precios del gas y la energía ha llevado a muchos países a reactivar el uso del carbón como fuente primaria más económica. Como resultado, se ha pospuesto el cierre definitivo de minas y plantas que dependen de combustibles contaminantes, lo que contrarresta las metas establecidas.

Según el Fondo Monetario Internacional (FMI, 2022), aunque el aumento de los precios de los combustibles fósiles reduce la demanda de energía, sustituir el gas por combustibles más contaminantes tiene un efecto contrario, difícil de cuantificar. Además, la capacidad instalada de energía renovable (Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, FNCER) y la energía nuclear limitan los esfuerzos para reducir las emisiones de GEI. Por ello, se han acelerado los proyectos de transición hacia energías renovables, aunque sin un horizonte claro de finalización.

El 18 de mayo de 2022, en respuesta a las perturbaciones de los mercados energéticos tras la invasión rusa de Ucrania, la Comisión Europea presentó el Plan REPowerEU, cuyo objetivo es acelerar la transición hacia energías limpias y reducir la dependencia energética del continente de proveedores externos de combustibles fósiles antes de 2030. Este plan contempla tres líneas de trabajo: i) diversificación de fuentes de energía, ii) promoción del ahorro energético entre ciudadanos, empresas y organizaciones, y iii) estímulo a la inversión masiva en energías renovables (EU, 2022). La UE busca reducir sus importaciones desde Rusia en dos tercios para finales de 2022 y eliminarlas por completo mucho antes de 2030. Según el FMI, se requieren inversiones de 300 mil millones de euros antes de 2030 para cumplir los objetivos del plan.

A pesar de estas iniciativas, el contexto energético europeo generado por la guerra ha incrementado la demanda de combustibles fósiles como el carbón. Así, el debate sobre si las consecuencias del conflicto han

sido positivas o negativas para la transición energética sigue abierto. Por un lado, la IEA prevé que la demanda de carbón se mantenga alta al menos hasta 2025, aumentando las emisiones de GEI; por otro lado, los precios elevados del gas han impulsado la inversión en nuevos proyectos de Gas Natural Licuado (GNL) en EE. UU. y Qatar.

Sin embargo, hay señales que sugieren que la transición se ha acelerado entre 5 y 10 años (The Economist, 2023). El esfuerzo global en eficiencia energética, que mide la relación entre el crecimiento del PIB y el consumo energético, logró un avance notable en el último año: la economía global se volvió un 2% menos intensiva en energía, la mejora más rápida en la última década, especialmente en Europa, donde se invirtieron 560 mil millones de dólares en eficiencia energética. Además, los precios de los combustibles fósiles seguirán elevados debido a la tensión en el mercado. La inversión en el sector de petróleo y gas cayó en los años previos a la pandemia, siguiendo la ciclicidad del sector. Según el International Energy Forum, entre 2018 y 2020, la inversión en exploración y producción de petróleo y gas disminuyó en un 33,3%, aunque entre 2020 y 2022 aumentó en un 66,3%. En contraste, las fuentes de energía renovable en Europa han mostrado precios más competitivos, acelerando el cambio hacia energías renovables. Desde diciembre de 2021 hasta octubre de 2022, los precios de los contratos de proyectos eólicos y solares fotovoltaicos estuvieron, en promedio, un 77% por debajo de los precios mayoristas.

Proyectando hacia el futuro, la inversión en nuevos proyectos ha crecido rápidamente. En 2022, la inversión mundial en generadores eólicos y solares aumentó de 357 mil millones de dólares a 490 mil millones de dólares (IEA), superando por primera vez la inversión en pozos de petróleo y gas. En EE. UU., la Ley de Reducción de la Inflación asignó 369 mil millones de dólares a subsidios para estas tecnologías. Asimismo, la Comisión Europea propuso una ley para alcanzar la neutralidad de emisiones en el sector industrial, con una inversión de 270 mil millones de dólares, y planea duplicar la capacidad solar instalada entre 2025 y 2030. Por su parte, China se ha fijado un objetivo del 33% de participación de energías renovables en su matriz de generación para 2025, en su decimocuarto Plan Quinquenal de Energía.

Como resultado de estos avances, la IEA espera que la capacidad de energía renovable aumente en 2,400 GW entre 2022 y 2027, lo que equivale a toda la capacidad de la matriz de China en 2022. En comparación con las proyecciones de 2021, antes del inicio del conflicto, esto representa un aumento del 30%. Las expectativas sobre la disminución de las emisiones de GEI están cambiando en función de los acontecimientos, al igual que las proyecciones sobre la aceleración de la transición energética.

Las conclusiones del panel de septiembre de 2023, conformado por la IEA, el Banco Central Europeo (ECB) y el Banco Europeo de Inversiones (EIB), **apoyan la idea de que la reciente crisis energética en Europa puede ser una oportunidad para incrementar la competitividad y la estabilidad financiera mediante el impulso de la transición energética, a través de mayores inversiones en tecnologías de emisiones cero (net zero).**

### 3. IMPLEMENTACIÓN GLOBAL Y LOCAL DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

En el capítulo 1 analizamos el requerimiento de realizar una transición energética, en el capítulo 2, algunos eventos que vienen afectado al proceso de transición, y en este capítulo veremos las proyecciones que a la fecha se tienen de la implementación de la transición energética a nivel mundial y en Colombia. Evaluamos si los escenarios proyectados permiten el logro de la carbono-neutralidad del sector energético, para el cumplimiento del Acuerdo de París de 2015 frente al cambio climático.

En términos generales, creemos que el objetivo global de largo plazo se puede lograr, pero a partir de una adopción de medidas tardía y mucho más costosa de lo que sería -habría sido- una transición ordenada. Asimismo, revisamos la implementación que a la fecha realizaría Colombia, de acuerdo con la información oficial. Teniendo en cuenta la poca relevancia que a nivel global tienen las emisiones colombianas de GEI, la inversión para esta transición debe enfatizar la mitigación y adaptación frente a los inevitables efectos del cambio climático, así como garantizar la seguridad energética del país. Esta observación coincide con las recomendaciones de la IEA en su reciente revisión de la política energética colombiana (IEA, 2023).

#### 3.1. Escenarios de implementación de la transición energética global

Revisamos la información publicada por la Agencia Internacional de Energía (IEA) y la Red para el Reverdecimiento del Sistema Financiero (NGFS)<sup>20</sup>, lo que revela que, ni con las políticas actuales, ni con los compromisos anunciados por cada país (aunque más optimistas que sus políticas vigentes), es posible limitar el calentamiento global lo suficiente como para evitar una catástrofe ambiental. Además, identificamos que lo más probable es que se produzca una implementación tardía y acelerada, lo que exigirá en el futuro esfuerzos e inversiones mucho mayores que los necesarios para una transición ordenada.

#### El objetivo final: Emisiones netas cero para 2050

Luego de la crisis global generada por el COVID-19, que se tradujo en una reducción en la emisión de CO<sub>2</sub> en el mundo, y los cuestionamientos que se generaron a partir de la guerra entre Ucrania y Rusia sobre la dependencia energética de los países europeos, se generó una disyuntiva entre la transición energética, la seguridad energética y la recuperación económica postpandemia (recuperación que actualmente depende del uso de combustibles fósiles y el gas). Con esto en mente, a continuación, revisamos la senda de reducción de CO<sub>2</sub>eq requerida para cumplir con los compromisos del Pacto de París en el escenario de cero emisiones netas de la IEA (NZE por sus siglas en inglés), que es el escenario de transición energética global ordenado y paulatino (Tabla 4). Posteriormente analizamos algunos de los demás escenarios de transición energética

---

<sup>20</sup> El NGFS es una red de 83 bancos centrales y supervisores financieros creada en 2017, que tiene como objetivo acelerar la ampliación de las finanzas verdes y desarrollar recomendaciones para el papel de los bancos centrales en el cambio climático. Esta es la fuente principal para el documento de McKinsey sobre las Perspectivas Globales de Energía 2022, "Global Energy Perspective 2022".

planteados para cumplir con el objetivo climático, junto con nuestro diagnóstico, así como el diagnóstico de la IEA plasmado en su “Net Zero Roadmap A Global Pathway to Keep the 1,5°C Goal in Reach” (2023).

**Tabla 4. Disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> necesarias**

	Emisiones de CO <sub>2</sub> (MtCO <sub>2</sub> )				TACC 2020 - 2050 (%)
	2020	2030	2040	2050	
CO <sub>2</sub> total*	33.903	24.030	6.471	0	n.a.
Actividades de combustión	31.582	21.958	5.820	655	-12,1
Carbón	14.110	8.173	1.200	171	-13,7
Petróleo	10.264	7.910	3.219	824	-8,1
Gas Natural	7.138	5.795	1.780	358	-9,5
Bioenergía y basura	71	80	-379	-698	n.a.
Consumo final*	18.928	15.187	6.241	1.088	-9,1
Carbón	4.171	2.983	1.142	138	-10,7
Petróleo	9.077	7.398	2.989	711	-8,1
Gas Natural	3.332	2.543	1.036	173	-9,4
Bioenergía y basura	71	43	-93	-205	n.a.
Remoción de CO <sub>2</sub> total	1	234	995	1.710	28,2
Captura de CO <sub>2</sub> total	40	1.024	3.724	6.040	18,2

*Fuente: International Energy Agency (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris. Net Zero Roadmap 2023 Update, Paris (2023). Construcción: Corficolombiana. \* Incluye emisiones de procesos industriales. TACC: Tasa Anual de Crecimiento Compuesto.*

Anotamos que, en el escenario base del logro de la carbono-neutralidad en 2050 de la IEA en su actualización de septiembre de 2023, alrededor del 35% de la reducción de emisiones netas de CO<sub>2</sub> corresponde a tecnologías en desarrollo (una mejora notable frente al 46% estimado en 2021).

## Descripción de los escenarios de la Agencia Internacional de Energía

Desde la IEA se han planteado diversos escenarios sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> requeridas para el cumplimiento de los acuerdos sobre el cambio climático a nivel global, teniendo en cuenta la diversidad de circunstancias, recursos, tecnologías y posibles opciones de política de los diferentes países.

Los escenarios de implementación que destacamos de la IEA son:

- **Emisiones netas cero para el 2050 (NZE, por sus siglas en inglés):** El camino ordenado y paulatino para que el sector energético global alcance cero emisiones netas de CO<sub>2</sub> en el 2050.
- **Escenario de Promesas Anunciadas (APS, por sus siglas en inglés):** Asume que todos los compromisos climáticos adquiridos por los gobiernos a nivel mundial, comenzando por las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC), se cumplirán en su totalidad y a tiempo.
- **Escenario de Políticas Declaradas (STEPS, por sus siglas en inglés):** Se limita al cumplimiento de las medidas implícitas en las políticas declaradas por cada país con corte 2021.

En la actualización de 2023 del NZE 2050 de la IEA, hay optimismo respecto a la evolución de la capacidad instalada en paneles solares (250 GW en 2022), el cambio en la flota vehicular hacia vehículos eléctricos (hace dos años 1 de cada 25 vehículos vendidos era eléctrico, ahora es 1 de cada 5) y el aumento en las inversiones, que en 2023 se estiman en USD 1,8 billones. Sin embargo, el reporte es contundente al concluir que, limitándonos a aplicar las políticas energéticas vigentes en los diferentes países, se va a superar el límite de 1,5°C antes de terminar esta década, y una vez superado este umbral, únicamente la absorción directa de CO<sub>2</sub> atmosférico permitiría reducir la temperatura promedio.

Lo anterior coincide con lo que se esperaba hace tres años cuando se plantearon los escenarios: El escenario de promesas anunciadas (APS) es mucho más ambicioso que el escenario de políticas declaradas (STEPS), sin acercarse a la carbono-neutralidad (Gráfico 25), mientras que el escenario NZE se mantiene como una referencia, pero no parece probable. Por otro lado, hay una leve mejora en el cálculo de emisiones para 2030 en el escenario STEPS, mientras que los otros dos empeoran levemente (Gráfico 26).

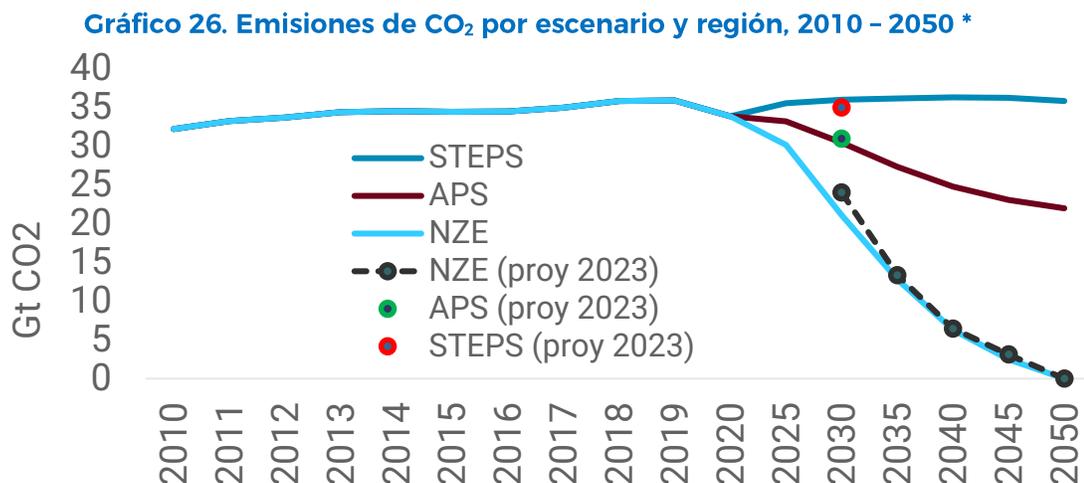
El gráfico 26 contiene la proyección de escenarios planteada en 2021 junto con la reestimación de emisiones para 2030 plasmada en “World Energy Outlook 2023”. Partiendo de que en 2020 se produjeron cerca de 34 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> (Gt CO<sub>2</sub>) y tomando periodos de 10 años, la disminución de emisiones en el escenario NZE es de -29% de 2020 a 2030, -75% de 2030 a 2040 y -100% de 2040 a 2050, terminando con cero emisiones netas, mientras que las disminuciones correspondientes en el escenario STEPS son de 3% (aumento), -9% y -6% respectivamente, terminando con una emisión neta de 30 gigatoneladas de GEI.

**Gráfico 25. Emisiones globales de CO<sub>2</sub> por sector en cada escenario.**



*Fuente: International Energy Agency (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris. Construcción: Corficolombiana.*

Las disminuciones planteadas en el escenario de promesas anunciadas (APS) son mejores frente al STEPS, terminando en 12 Gt CO<sub>2</sub>eq en 2050, pero su cumplimiento es menos probable y en todo caso incumple -de lejos- con el objetivo de cero emisiones netas para 2050. Hace falta un mayor compromiso de parte de los países que ya se han impuesto metas en la reducción de emisiones, junto con la inclusión de otro grupo de países que aún se ha comprometido (30% del PIB Global).



Fuente: International Energy Agency (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris, Net Zero Roadmap 2023 Update, Paris 2023 y World Energy Outlook 2023. Construcción: Corficolombiana. \* Gt: Gigatoneladas (10<sup>9</sup> toneladas).

## Descripción de los escenarios de la Red para el Reverdecimiento del Sistema Financiero (NGFS)

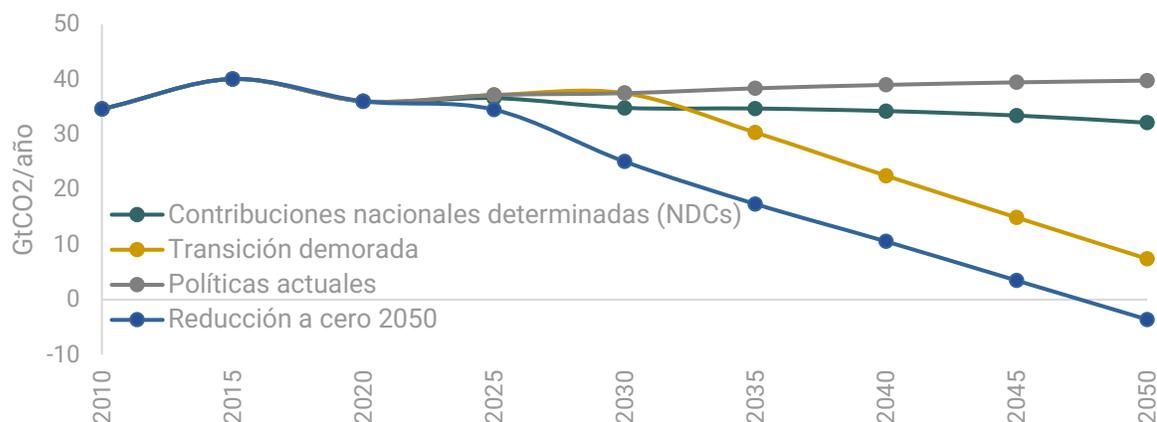
Complementamos el análisis de escenarios de la IEA con el trabajo realizado por la Red para el Reverdecimiento del Sistema Financiero (*Network for Greening the Financial System* o NGFS), que es una red de bancos centrales y supervisores financieros que voluntariamente comparten las mejores prácticas para alcanzar las metas climáticas. El NGFS ha elaborado seis escenarios de transición, que tienen en cuenta las tendencias económicas y poblacionales actuales (Gráficos 27 y 28).

Los escenarios de implementación del NGFS que destacamos son:

- **Reducción a cero en 2050 (Net Zero 2050):** Este es el escenario más ambicioso, limitando el calentamiento global a no más de 1,5°C, con políticas restrictivas e innovaciones que permitan alcanzar la neutralidad del carbono al 2050. Dentro de las jurisdicciones “más responsables” se encuentran Estados Unidos, la Unión Europea y Japón. Adicionalmente, asume la adopción de tecnologías -en desarrollo- que permitan la captura de carbono de inmediato. **Similar al escenario NZE de la IEA.**
- **Transición demorada:** Este escenario asume una lenta velocidad de transición en la matriz energética, por lo que, hasta 2030 no habrá una reducción en las emisiones, con lo cual se requerirá adoptar medidas especiales futuras más exigentes en cada uno de los países que se han comprometido con los objetivos.

- **Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDCs, por siglas en inglés):** Este es el escenario vigente, con el que se comprometió Colombia. Bajo este escenario el incremento de la temperatura global sería alrededor de 2,6°C, con políticas heterogéneas a nivel de los países y moderadas a nivel agregado. El cumplimiento de este escenario arroja impactos medioambientales heterogéneos por país, mayores y más negativos en los países más vulnerables al cambio climático (como Colombia). **Similar al escenario APS de la IEA.**
- **Políticas actuales:** El escenario asume la implementación de las políticas aprobadas hasta la fecha en los diferentes países, resultando en un incremento en la temperatura promedio de aproximadamente de 3°C. **Similar al escenario STEPS de la IEA.**

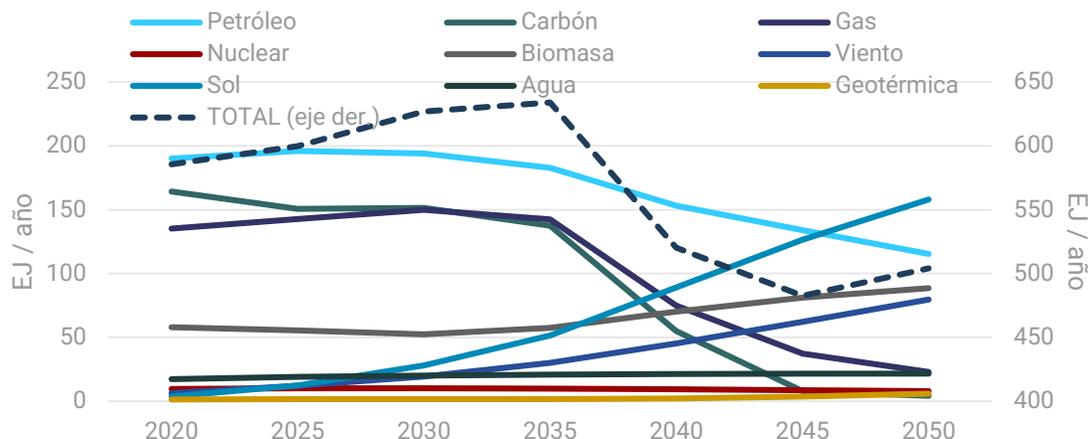
**Gráfico 27. Emisiones globales de CO<sub>2</sub> por tipo de escenario**



*Fuente: NFGS. Construcción: Corficolombiana. Gt: Gigatoneladas.*

El escenario que implementa las políticas actuales resulta en variaciones en emisiones de GEI respecto a 2020 de +4,1%, 8,3% y 10,4% en 2030, 2040 y 2050. En cuanto a las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDCs), de acuerdo con lo revisado en esta sección, se encuentran en el nivel de “promesas”, aun no se trata de políticas con una reglamentación al nivel de las empresas y los hogares. En todo caso, aún si todos los países cumplieran sus NDCs actuales (incluyendo las metas de Colombia descritas en la sección 1.4), enfrentaremos un escenario climático adverso.

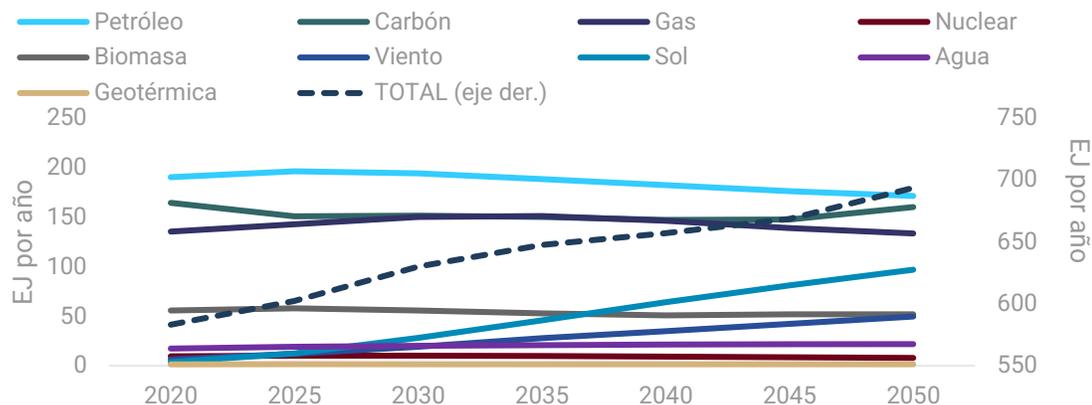
**Gráfico 28. Oferta primaria de energía por tipo de fuente, escenario transición demorada**



Fuente: NGFS. Construcción: Corficolombiana. Exa-julios (EJ):  $10^{18}$  julios.

Sumado al incumplimiento en lo ambiental, en el escenario que estimamos más probable, de una transición demorada, tal y como lo plantea el NGFS, las fuentes de energía no convencionales no alcanzarían a reemplazar a las fuentes fósiles en la oferta energética global (Gráfico 28), mientras que el escenario de políticas actuales sí lo hacen (Gráfico 29).

**Gráfico 29. Oferta primaria de energía por tipo de fuente, escenario políticas actuales**



Fuente: NGFS. Construcción: Corficolombiana. Exa-julios (EJ):  $10^{18}$  julios.

Teniendo en cuenta lo anterior, y asumiendo como correcta la estimación de que el pico de emisiones de CO<sub>2</sub>eq sea en 2025, para lograr la carbono-neutralidad en 2050, de acá a 2030 debe disminuir el consumo de combustibles fósiles un 25%. Sumado a esto, en la tabla 5 listamos los demás avances mandatorios para cumplir con la meta de 1,5°C.

**Tabla 5. Avance requerido de 2022 a 2030 para lograr la meta de 2050 (IEA, 2023)**

	2022	2030	Mejora requerida
Capacidad de generación eléctrica renovable	3.629 GW	11.008 GW	3,0x
Mejora anual en la intensidad energética primaria *	2%	4%	2,0x
Emisión de metano de combustibles fósiles	1.300	195	-85%
Inversión en energía limpia	USD 1,8 billones	USD 4,5 billones	2,5x

*Fuente: International Energy Agency (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris. Construcción: Corficolombiana.*

*\* Incluye emisiones de procesos industriales. TACC: Tasa Anual de Crecimiento Compuesto. TAAC: Tasa Anual de Crecimiento Compuesto. \* Decrecimiento porcentual en la razón entre el suministro energético global por unidad de PIB.*

## Diagnóstico negativo: escenarios en riesgo

Creemos que se va a cristalizar el escenario de transición demorada de NGFS, con el recorte en las emisiones netas comenzando luego de 2030, con un carácter más urgente o mandatorio, y consecuentemente más costoso para todos, sin lograr la meta de ser un planeta carbono-neutral en 2050. Este escenario coincide con adoptar el “APS” de la IEA los primeros años, para luego requerir corregir el rumbo a través de medidas más drásticas y costosas. En esta línea, la advertencia de la sexta evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas, es contundente en su diagnóstico de que el ritmo y la escala de las acciones climáticas adoptadas y proyectadas actualmente son insuficientes para abordar el problema del cambio climático (IPCC, I. P. 2023).

Asimismo, el reporte de riesgos globales de 2022 del Foro Económico Mundial menciona que el escenario **más optimista es llegar a limitar el calentamiento global a 1,8°C, sin embargo, con las políticas actuales tan solo se lograría limitar el aumento a 2,4°C**. Por lo pronto, el impacto de incumplir los objetivos del Pacto de París asciende a una pérdida de entre 4% y 18% del PIB mundial, con impactos adversos heterogéneos según la región geográfica. Adicionalmente, este reporte concluye que, actualmente el mundo cursa una transición energética desordenada, luego de años de inacción, el choque del COVID-19, la recuperación económica diferenciada, etc. La velocidad de ajuste de cada país se verá limitada en función de la capacidad de inversión y grado de compromiso y coordinación en todos los niveles (Gobierno, empresas e individuos).

### 3.2. Ejemplos para Colombia: Casos tipo

Como mencionamos en el Capítulo 2, en la conferencia de septiembre de 2023 organizada por la IEA, el Banco Central Europeo (ECB) y el Banco de Inversiones Europeo (EIB), se resaltaron dos eventos clave que han afectado significativamente la transición energética: la situación post-COVID-19 y la persistencia de la guerra entre Rusia y Ucrania. En esta sección, analizamos cómo Alemania y Noruega gestionaron la crisis energética derivada de estos acontecimientos en sus respectivos procesos de transición, con el fin de extraer lecciones para el caso colombiano, identificando tanto prácticas recomendables como aquellas que deberían evitarse. Cerramos la sección con el caso de éxito del desarrollo de gas offshore en Israel. **El análisis del caso noruego**

**se alinea con la recomendación que la IEA hizo a Colombia en su revisión de la política energética (IEA, 2023), subrayando la importancia de aprovechar los recursos disponibles actualmente para financiar su transición.**

## **Caso truncado alemán**

Siendo un referente para el proceso de transición energética, que desde la década de 1990 ha manifestado activamente su compromiso en la lucha contra el cambio climático con la propuesta de alcanzar la neutralidad de emisiones de carbono hacia 2045, consideramos relevantes las lecciones del proceso alemán (*Energiewende* en alemán), que puedan servir para que el proceso colombiano sea exitoso.

Hacemos énfasis en lo que tiene que ver con la generación eléctrica en dicho país, que busca basarse en fuentes renovables. Tal como en los demás procesos de transición energética, la participación de la electricidad en el consumo final deberá incrementar en reemplazo del consumo directo de combustibles fósiles. Asimismo, el *Energiewende* abarca temas como el Desarrollo Sostenible<sup>21</sup> y la eficiencia energética. Adicionalmente, el *Energiewende* tiene como bandera la abolición del carbón.

Sin embargo, tanto la disminución en el consumo directo de combustibles fósiles (transporte e industria), como el reemplazo de la matriz de generación han sido más demorados de lo previsto. Adicionalmente, se apostó porque el respaldo necesario para complementar la generación por FNCER fuera provisto por el gas natural -principalmente ruso- en vez del carbón, dejando al país vulnerable a la coyuntura geopolítica relacionada con la invasión de Rusia a Ucrania. Finalmente, el país cargó con la exigencia adicional de reemplazar la generación de las plantas nucleares (económicas, además de limpias desde el punto de vista del CO<sub>2</sub>). Lo anterior resultó en un sistema energético que no tiene garantizadas sus fuentes.

### El desarrollo del proceso de transición, los ajustes requeridos y las lecciones para Colombia

El proceso alemán inició con el compromiso de recomponer su matriz energética, partiendo de una matriz concentrada en fuentes de energía fósil y nuclear, hacia una matriz basada en fuentes eólica y solar. La propuesta era cubrir por lo menos el 80% del abastecimiento de electricidad y el 60% del abastecimiento energético total con energías renovables.

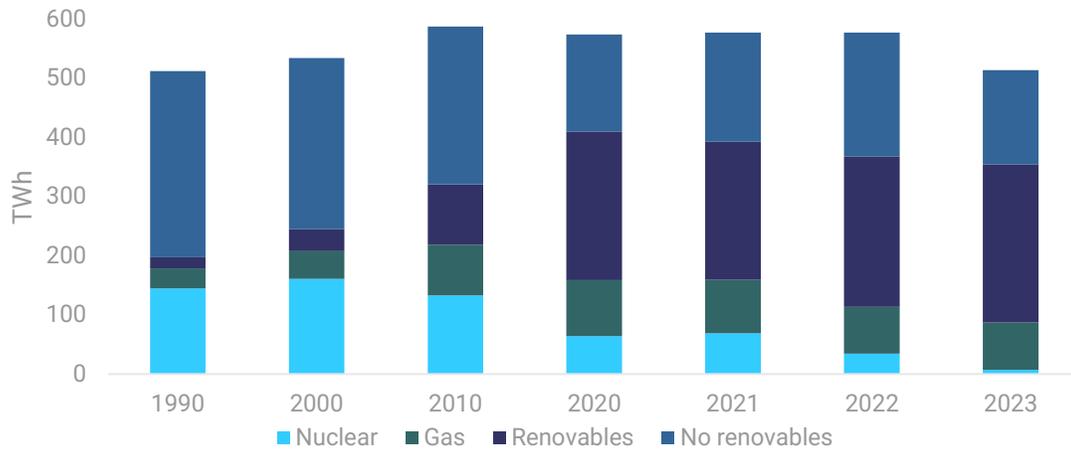
En este contexto, las fuentes de energía limpias -excluyendo la nuclear- incrementaron su relevancia dentro de la matriz de generación eléctrica, pasando de representar el 3,8% de su producción total en 1990 al 44,4% en 2022, resultado de múltiples estrategias que incluyen eficiencia energética, una caída pronunciada en la generación con energías fósiles, y la aplicación de una drástica política de desnuclearización. Este último

---

<sup>21</sup> Desarrollo Sostenible: El desarrollo que cumple con satisfacer las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus necesidades.

componente ha significado un esfuerzo extraordinario, pues la energía nuclear fue una de las principales apuestas de Alemania desde la década de 1980.

**Gráfico 30. Evolución de la generación eléctrica en Alemania**



*Fuente: Statistisches Bundesamt. Construcción: Corficolombiana. Tera-vatio (TW) = 10<sup>12</sup> vatios.*

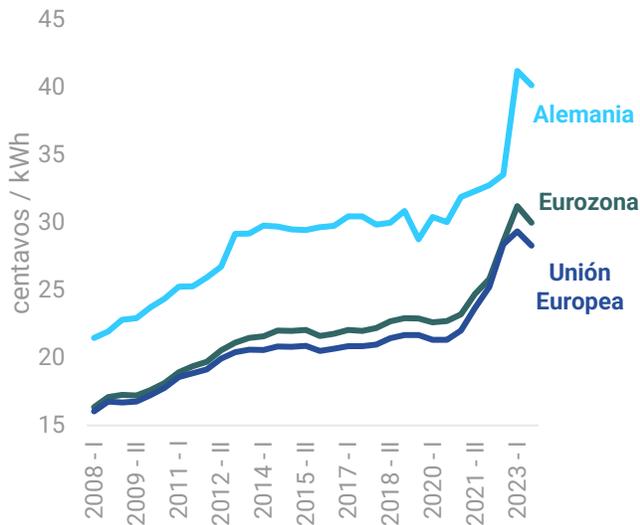
A pesar de su ventaja relativa a nivel de bajos costos y emisiones, múltiples movimientos ambientalistas lograron desacelerar la construcción de plantas nucleares en el territorio alemán, a partir de iniciativas de desnuclearización desde el 2002. Aunque el accidente nuclear de Chernóbil (1986) siempre sirvió como argumento en contra de las plantas nucleares, fue tras el accidente de Fukushima en 2011, que la entonces canciller Angela Merkel (antes pro-nuclearización) cambió su postura frente a esta fuente y tomó la drástica decisión de desmontar las plantas, objetivo que se logró en abril de 2023, cuando Alemania cerró las últimas tres plantas nucleares del país, luego de postergar este cierre debido al impacto del conflicto en Ucrania sobre el abastecimiento de fuentes energéticas.

Fue un gran esfuerzo para el país, que tuvo que reemplazar a la generación eléctrica de las plantas nucleares, generación que llegó a representar la cuarta parte de la matriz (24,8%). Asimismo, para mantener la confiabilidad, junto con la consigna ambientalista, el país le apostó al gas natural para reemplazar su capacidad nuclear. Mientras tanto, continuaron incrementando la capacidad de FNCER -capacidad que a su vez requiere de respaldo-. Lo anterior resultó en una mayor dependencia del suministro de gas ruso para la generación térmica, así como una mayor vulnerabilidad frente a factores geológicos y climáticos no controlables, en el caso de la generación proveniente de fuentes renovables, toda vez que en la actualidad no se cuenta con tecnologías de almacenamiento eléctrico a gran escala, a pesar de la voluntad e inmensos recursos destinados al *Energiewende*.

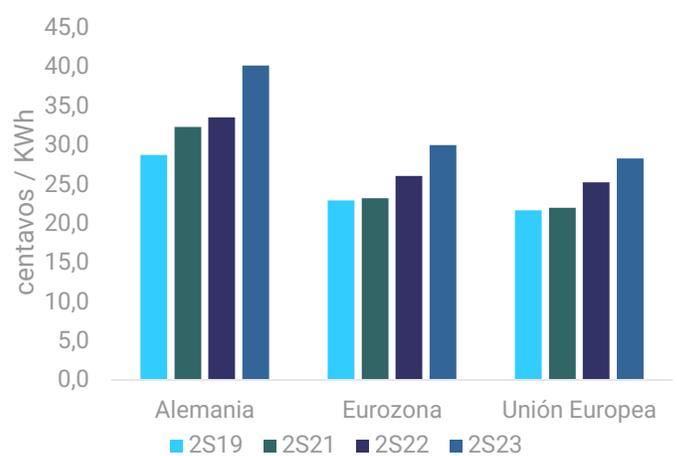
Asimismo, el proceso alemán evidencia el inmenso esfuerzo económico requerido. En primer lugar, el *Energiewende* se ha financiado por medio de las facturas de electricidad de la población, que incorporan un Recargo por Energías Renovables (EEG por sus siglas en alemán) que ascendió al 21% del precio promedio de

la electricidad en 2021, o 6,5 centavos de euro por kilovatio-hora (ct/kWh). En 2022 el recargo por energías renovables se ubicó en 3,7 ct/kWh en promedio.

**Gráfico 31. Evolución de los precios de la electricidad en euros para los consumidores domésticos**



**Gráfico 32. Precios de la electricidad en euros para los consumidores domésticos - datos semestrales**



*Fuente: Eurostat. Construcción: Corficolombiana. Los centavos son centavos de euro. kWh: kilovatios por hora.*

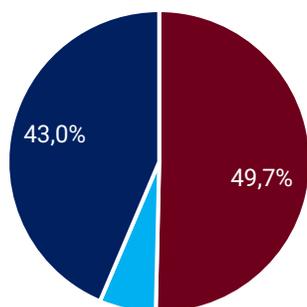
Si bien la ciudadanía promueve activamente al *Energiewende*, pagan los precios por kilovatio-hora más elevados a nivel mundial, situación que se acentuó en medio de la escasez energética relacionada con el conflicto entre Rusia y Ucrania iniciado el 2022. El país quedó en medio de las cada vez más estrictas sanciones económicas y comerciales impuestas a su principal proveedor energético, Rusia.

En este sentido, la dependencia de las importaciones de energía, o la falta de autoabastecimiento, se evidencian como una gran debilidad para el sistema energético de Alemania y de cualquier país, al punto de alterar la implementación de la transición energética. Es así como a pesar de los objetivos de la transición, la coyuntura descrita obligó a que Alemania volviera a incrementar su consumo de carbón.

Antes de incorporar el efecto de la crisis energética de 2022, luego de mucho esfuerzo e inversión, la distribución del consumo energético final en Alemania no lucía tan impresionante frente a Colombia. En efecto, en 2022 el 77,4% de su consumo energético primario provenía de fuentes térmicas, frente al 17,5% que provino de renovables. En el caso de Colombia, cuyos esfuerzos en esta materia han sido sustancialmente menores, el consumo proveniente de fuentes térmicas fue del 71,7%, frente al 28,3% abastecido por fuentes limpias (*World Energy Balances 2022 Edition*, IEA). Si nos concentramos en la electricidad (Gráficos 33 y 34), es aún

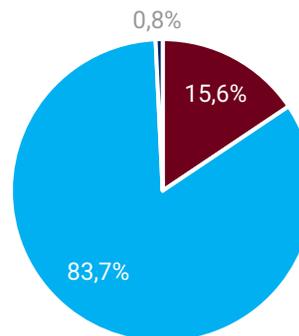
más clara la ventaja que tiene Colombia. En 2022, mientras que en la matriz eléctrica de Alemania las fuentes renovables (convencionales y no) participaron de apenas 43%, en nuestro país su participación fue del 83,7%<sup>22</sup>.

**Gráfico 33. Generación eléctrica por fuentes en Alemania (2022)**



■ Combustible fósil ■ Nuclear ■ Renovables

**Gráfico 34. Generación eléctrica por fuentes en Colombia (2022)**



■ Combustible fósil ■ Hidro ■ Renovables

*Fuente: IEA y XM. Construcción: Corficolombiana.*

A pesar del diagnóstico negativo del caso alemán, que fue resaltado durante 2022 por los PIGS (Portugal, Italia, Grecia y España), este país ha tenido éxitos indiscutibles en su lucha contra el cambio climático. Se trata del referente mundial en la materia, siendo precursor en iniciativas que eventualmente tomarían los demás países, mediante tratados multilaterales como el Acuerdo de París o el Pacto Verde Europeo. Por esta línea, el Banco Central Europeo (BCE) viene incorporando la iniciativa climática a sus políticas, reiterando la importancia del sector financiero dentro de la lucha contra el cambio climático.

Teniendo en cuenta el ejemplo alemán, en Colombia debemos incorporar las siguientes lecciones:

- **El proceso de transición debe ser gradual**, asegurando en todo momento la confiabilidad del sistema eléctrico y energético en su conjunto. Mientras no exista almacenamiento a gran escala, las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR) deben estar respaldadas por capacidad térmica. En nuestro análisis para Colombia, no incluimos la energía nuclear.
- **El concepto de confiabilidad debe contemplar dos aspectos clave:** primero, que algunas fuentes garantizan un suministro estable (combustibles fósiles y energía nuclear), independientemente de las condiciones climáticas; segundo, la necesidad de asegurar el abastecimiento, evitando la dependencia de un único proveedor y favoreciendo el autoabastecimiento. En el caso de Colombia, esto aplica al gas natural.
- **No tiene sentido expandir la flota de transporte eléctrico si la electricidad utilizada sigue siendo generada por fuentes fósiles**, como ocurrió con el carbón en Alemania.

<sup>22</sup> Es importante reconocer que el carácter "limpio" de la matriz energética colombiana se limita a la matriz de generación eléctrica. Desde el punto de vista de la oferta total por fuentes y/o el consumo total, no lo somos tanto.

## Ejemplo de pragmatismo noruego

Las decisiones en torno al proceso de transición energética en Noruega y el manejo que el país le viene dando a la coyuntura geopolítica vigente, pueden servir de referencia para Colombia, teniendo en cuenta la presencia de algunos elementos en común.

Tanto Noruega como Colombia están comprometidos con la transición energética. Asimismo, ambos países presentan en la actualidad una elevada dependencia económica sobre el sector de petróleo y gas. Asimismo, ambos países aventajan a -la mayor parte de- los demás países en lo que tiene que ver con la “limpieza” de su matriz de generación eléctrica. Sin embargo, mientras que en Noruega el sector energético (incluyendo el uso en calefacción y transporte) aporta la mayor parte de sus emisiones de GEI, en Colombia los mayores aportantes son la agricultura y el uso del suelo.

Por otro lado, -tal como es el caso en todos los países- las inversiones futuras requeridas por la transición energética resultan muy elevadas, inclusive para un país rico como Noruega. La principal diferencia con Colombia radica en el grado en que las inversiones requeridas para la transición de cada país se esperan apalancar con los recursos que actualmente provee el sector de petróleo y gas.

En cuanto a las emisiones de GEI del sector energético noruego, si bien la eléctrica está prácticamente libre de emisiones, esta es solo una parte del consumo energético final del país. La emisión de GEI del sector energético noruego se presenta en el uso de energía en el transporte, la manufactura, la producción de petróleo y gas, y la calefacción (*Energy Facts Norway, 2021*).

Asimismo, el proceso de transición energético noruego se enmarca en el plan de política energética, que se basa en 4 pilares: 1) mejorar la seguridad del suministro de energía, 2) desarrollar energías renovables rentables, 3) promover un consumo de energía más eficiente y respetuoso con el medio ambiente y 4) crear valor a partir de los recursos energéticos renovables.

De cara al futuro, los objetivos climáticos de Noruega se vienen haciendo más ambiciosos. Si bien ya se proponían reducir a la mitad sus emisiones para 2030 y cero emisiones en 2050 (en comparación con los niveles de 1990), en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre cambio climático que se llevó a cabo en noviembre de 2022 (COP-27), el primer ministro Jonas Gahr Støre, anunció que se elevaría el objetivo de corto plazo (a 2030) a una reducción del 55%. Teniendo en cuenta estos compromisos y tomando como base el informe *Energy Transition Norway: ¿Está noruega en camino de alcanzar sus objetivos climáticos?* (*Det Norske Veritas, 2022*), se estima que las políticas aprobadas por Noruega para alcanzar las cero emisiones en 2050 superan la capacidad del país.

En esta línea, los últimos resultados de la iniciativa *Oil and Gas Transition* (OGT, 2022), producidos en medio de la escalada de precios de la energía en Europa, indican que es poco factible cumplir las metas que tiene Noruega a 2030 y 2050 sin contar con los recursos que aporta el gas y el petróleo. Adicionalmente, para lograr la transición hacen falta elementos como un mayor apoyo del gobierno en materia de regulación, empleo, incentivos de inversión y un marco tributario propicio, así como inversiones en sectores transversales para evitar efectos colaterales adversos.

El reparo de Noruega respecto a contar con los recursos del petróleo y el gas se basa en el hecho de que sus exportaciones vienen disminuyendo en los últimos años y se calcula que en el 2050 estas serán el 5% del nivel actual de 650 millones de barriles por año aproximadamente. Mientras tanto, se estima que las exportaciones de gas natural disminuirán 60% respecto a su nivel actual. Lo anterior, de acuerdo con el análisis a 2022 realizado por *Det Norske Veritas* (DNV), sociedad de clasificación y proveedor de servicios de gestión de riesgos.

En cuanto a la electricidad, en la actualidad Noruega es un exportador. Sin embargo, *Det Norske Veritas* (DNV) ha identificado señales de un déficit energético para los próximos años. Este déficit se basa en los crecimientos de la capacidad de generación y red eléctrica, por un lado, y la demanda esperada de energía debido a la transición energética (mayor participación de la energía eléctrica en el consumo energético final, en reemplazo de otros combustibles) por otro lado.

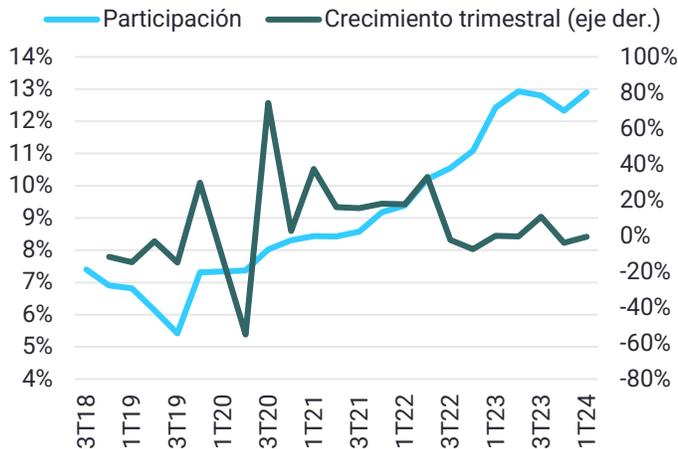
#### Respuesta Noruega a la coyuntura energética

¿Cómo ha aprovechado Noruega su riqueza de recursos fósiles durante la coyuntura energética relacionada con el conflicto entre Rusia y Ucrania (ver “La invasión rusa a Ucrania” en la sección 2.2.)? Si bien Noruega ha liderado la transición hacia el uso de energías verdes, se ha beneficiado de la coyuntura reciente mediante el incremento de su producción petrolera y -especialmente- gas, incrementando su participación de mercado en Europa, ayudando de paso a reducir la dependencia de Rusia.

Noruega era el octavo mayor exportador de petróleo crudo del mundo y cuarto mayor exportador de gas natural en 2021, y durante la crisis energética europea aumentó su presencia de mercado en Europa, pasando de representar -en promedio- el 5,2% de las importaciones de gas natural de la zona euro durante 2017 a 2021 a representar el 9,0% entre 2022 y 2023. Así mismo, en las importaciones de petróleo crudo, pasó de representar el 7,5% del total demandado por la zona euro durante 2017 a 2021 a representar el 11,5% en 2022 y 2023.

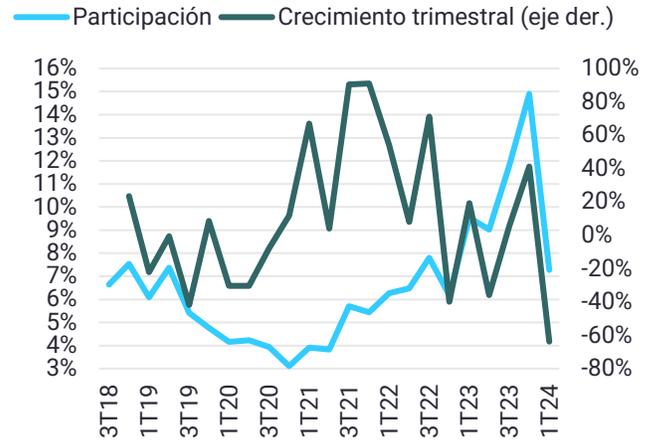
**Gráfico 35. Petróleo noruego exportado a la**

**UE**



**Gráfico 36. Gas Natural noruego exportado a la**

**UE**



Fuente: Trademap. Construcción: Corficolombiana.

En esta línea, dentro de las recomendaciones de la IEA sobre la política energética en Colombia (IEA, 2023), se enfatiza la necesidad de contar con las rentas petroleras para soportar las inversiones requeridas en la transición hacia la energía limpia, tal como lo viene haciendo Noruega.

## Desarrollo del gas natural en Israel

**Terminamos esta subsección, describiendo el caso de éxito de Israel en torno a la explotación del gas natural offshore:** Israel es un ejemplo de progreso económico y descarbonización mediante la producción, autoabastecimiento y exportación del gas natural. De acuerdo con la Cámara de Comercio del Gas de Israel, los ahorros logrados en 10 años por no haber tenido que importar gas natural ascienden a 83 mil millones de dólares (al cambio de septiembre de 2023). Adicionalmente, el aporte fiscal del sector suma cinco mil millones, en una economía de aproximadamente 522 mil millones de dólares (estimación del Fondo Monetario Internacional). Asimismo, en 2022, durante el periodo de precios -muy- altos de la electricidad en Europa, el precio en Israel fue 50% más bajo en promedio. Adicionalmente, el 32% de la reducción en la intensidad de CO<sub>2</sub>e<sub>q</sub> del país, relacionado con la generación eléctrica, se debe al uso del gas natural en reemplazo de otros combustibles fósiles (The Israeli Natural Gas Trade Association, 2023).

Israel es un caso de éxito, que en diez años ha logrado incrementar en 40% sus reservas, muy diferente a lo ocurrido con las reservas de Colombia. Independientemente del potencial de gas natural colombiano, en caso de perder la autosuficiencia va a sufrir un impacto económico contrario al descrito para Israel. Tomamos el este caso para apreciar la importancia de este energético bajo una perspectiva diferente a la local. En cuanto

a la perspectiva local, nuestras afirmaciones en torno a los beneficios en términos de precios, inclusión económica, etc., se basan en nuestros análisis de mercado, junto con estudios como “El gas natural como vehículo para elevar el bienestar y deducir la privación energética de los hogares en Colombia” (Angulo, R. Espinosa, F. Quijano, J. 2023).

### 3.3. Colombia: Futuro en Construcción

Habiendo revisado al mundo, nos concentramos en Colombia, con la información y análisis complementario a lo que ya se ha mencionado a lo largo del documento sobre país, terminando con algunas recomendaciones que pueden servir a nuestro proceso de transición energética. **Las recomendaciones suponen que el potencial de que Colombia expanda su capacidad de generación eléctrica con FNCER es inmenso. Asimismo, suponemos que buena parte del mantenimiento de la autosuficiencia energética a nivel de los combustibles fósiles está bajo el control del país, a través de la inversión en exploración e infraestructura. La justificación de estas premisas no hace parte de este trabajo.**

En agosto del año pasado el Ministerio de Minas y Energía comenzó a publicar la documentación de la Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa (TEJ), aclarando que se trata de una versión preliminar, y en 2024 seguimos a la espera de una versión definitiva. La adecuada articulación del TEJ es crítica, teniendo en cuenta el pobre avance de la entrada en operación de proyectos de generación con FNCER, junto con la renuncia a proyectos en curso por parte de algunos agentes relevantes como EDF *Renewables* y Enel. Por otro lado, en julio de 2023 se cumplió el plazo para realizar comentarios sobre la actualización del Plan Energético Nacional (PEN) 2022 – 2052<sup>23</sup> (Gráfico 37). En todo caso, los escenarios de proyección planteados en la TEJ no coinciden con los del PEN, ni siquiera los “escenarios de transición”.<sup>24</sup>

Aunque el proceso que viene liderando el Gobierno actual no es la continuación del proceso iniciado por el anterior, este documento supone que el Gobierno actual se regirá por la Política de transición energética (CONPES 4075) junto con la Ley de transición energética (Ley 2099 de 2021) (Anexo 4 de este documento). Asimismo, para nuestro análisis tuvimos en cuenta la Estrategia Colombia Carbono-Neutral (ECCN) que contiene las metas de reducción de GEI del país, junto con las últimas versiones de la Hoja de Ruta, el PEN, el Balance Energético Colombiano (BECO) y la Proyección de Demanda de Energía Eléctrica, Gas Natural y Combustibles Líquidos. Como referencia, en el anexo 5 incluimos las proyecciones de demanda energética de largo plazo utilizando el PEN anterior (2020 – 2050).

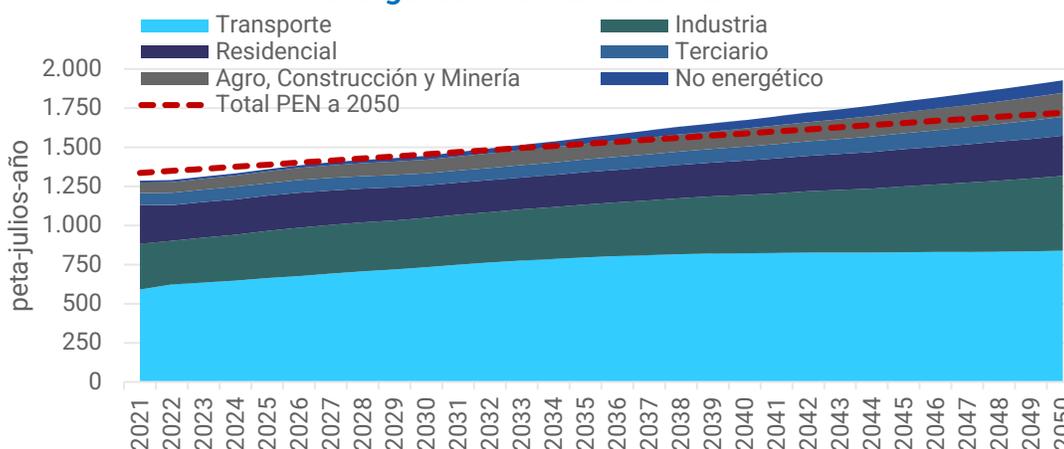
---

<sup>23</sup> Al cierre de septiembre, no se observan cambios en el texto del PEN 2052 resultado de los comentarios recibidos hasta el 21 de julio.

<sup>24</sup> Hay un punto de encuentro entre el escenario tendencial de la TEJ (cambio tecnológico según la velocidad actual del mercado) y el escenario de actualización del PEN 2052 (tendencias actuales, e implementación de la mejor tecnología disponible en Colombia.), donde la participación de la generación hídrica en la matriz de generación eléctrica pasa de 66,4% en 2022 a 31,8% en 2050 en el escenario tendencial (TEJ) y de 68,4% a 39,0% en el escenario de actualización (PEN 2052)

Durante 2023 y 2024, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) no ha contado con los integrantes requeridos para funcionar correctamente, luego de que se cambiaron las reglas para que el quórum en la comisión de regulación se lograra con menos participantes. La no conformación en propiedad de la CREG no es un asunto menor, pues esta comisión dicta las reglas en materia energética, algo que requiere el país, ahora más que nunca, cuando hay amenazas sobre el abastecimiento, en 2023 debido a la presencia del fenómeno de El Niño y durante 2024 por otras razones.

**Gráfico 37. Contraste de consumo energético discriminado del PEN 2022 - 2052 y consumo energético total PEN 2020 - 2050\***



*Fuente:* UPME. *Construcción:* Corficolombiana. \* En ambos PEN utilizamos el promedio aritmético de los escenarios proyectados.

## Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa (TEJ) en construcción

**Abastecimiento de combustibles fósiles:** En el documento de “Escenarios Nacionales” se evidencia el hecho de que el problema futuro de Colombia durante la implementación de la transición energética se relaciona con la sostenibilidad y la seguridad energética, dada la imposibilidad de mantener el autoabastecimiento de algunos combustibles fósiles. La oferta de gas proyectada incluye reservas 1P, 2P y 3P<sup>25</sup> además de la importación de gas de Cartagena y la de Buenaventura (la construcción de esta *regasificadora* no se ha adjudicado). De acuerdo con esto, y dependiendo del escenario de proyección, el déficit se iniciaría entre 2032 y 2034, pero estos escenarios parecen optimistas, de cara a la información que se viene publicando en 2024.

**Rol de los combustibles fósiles:** En los documentos de la Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa (TEJ) se evidencia que el logro de la carbono-neutralidad del país no se limita a lo que pueda hacer el sector energético, teniendo en cuenta el aporte relativamente bajo del sector en las GEI del país (32,3% en promedio

<sup>25</sup> Definición de reservas 1P son reservas probadas (probabilidad de 90% de ser extraídas), 2P son reservas probadas y probables (la probabilidad de extraer las reservas probables es de 50%) y 3P son reservas probadas, probables y posibles (la probabilidad de extraer reservas posibles es de 10%).

de 2009 a 2020, incluyendo su utilización en transporte, electricidad, calefacción, etc.), frente al 57,4% de la agricultura y el uso de la tierra<sup>26</sup>.

## Evolución reciente de la transición en Colombia

**Exploración y producción de combustibles fósiles:** La revisión de la EIA a las políticas energéticas de Colombia publicadas el año pasado (IEA, 2023) le reitera al país la importancia de contar con los recursos de la industria petrolera, como fuente de financiamiento de la transición energética, así como para mantener cierta seguridad energética. En esta línea, la reciente actualización del plan estratégico de largo plazo de Ecopetrol (Ecopetrol, 2023. Energía que transforma Estrategia 2040), se observa un reconocimiento por parte del Gobierno Nacional respecto a la necesidad de contar con los recursos del sector de hidrocarburos, junto con la necesidad de garantizar el autoabastecimiento de gas, combustible de la transición.

**Minería:** Lo publicado hasta ahora de la TEJ identifica parte de la problemática minera en Colombia y menciona el potencial que tiene el país en los minerales requeridos para la transición energética. **Sin embargo, aún hace falta determinar cómo se va a desarrollar el sector, qué manejo se le va a dar a los procesos de consultas previas y licencias ambientales, y lo más importante, cuáles son las reservas con las que cuenta el país.** Se espera que para 2026 se cuente con los datos oficiales de la Agencia Nacional de Minería, con la terminación del proyecto denominado “Estandarización y Clasificación de recursos y reservas de la Nación” (Portafolio, 2023). En la revisión a la política energética colombiana, la IEA afirma que Colombia tiene potencial minero para la transición energética, en línea con el mapa Metalogénico de Colombia de 2020, donde se evidencia el potencial mineral para Cobre, Níquel, Cobalto, Tierras raras, entre otros.

**Fortaleza eléctrica, no total:** Tomando la información del *World Energy & Climate Statistics – Yearbook* (Enerdata, 2023), de 2013 a 2022 la participación promedio de renovables en la producción eléctrica de Colombia fue 70,9%, muy superior al promedio mundial para ese periodo (25,4%). Sin embargo. La electricidad representa menos de la quinta parte del consumo energético final de Colombia (Gráfico 38). De hecho, al re-expresar a la electricidad en términos de sus fuentes, vemos que los combustibles fósiles participaron del 73% de la oferta energética colombiana (6% carbón, 67% combustibles líquidos y gas natural), 14% renovables (agua) y 13% biomasa. Visto así, el sistema energético colombiano luce menos sobresaliente en términos de emisiones netas de CO<sub>2</sub>eq.

**Coordinación:** Hace falta de coordinación en el proceso de transición energética del país entre las inversiones requeridas y las fuentes de recursos de inversión; la transformación de la matriz de oferta energética, la matriz de consumo final y los cambios en la flota de transporte vehicular; las expectativas respecto al desarrollo del

---

<sup>26</sup> En cuanto a CO<sub>2</sub>, el sector energético aportó 28,4%, frente al 63,4% de la agricultura y uso de la tierra.

potencial energético y minero, frente a la prospección y la reglamentación de las consultas previas y aprobaciones medioambientales, etc., etc.

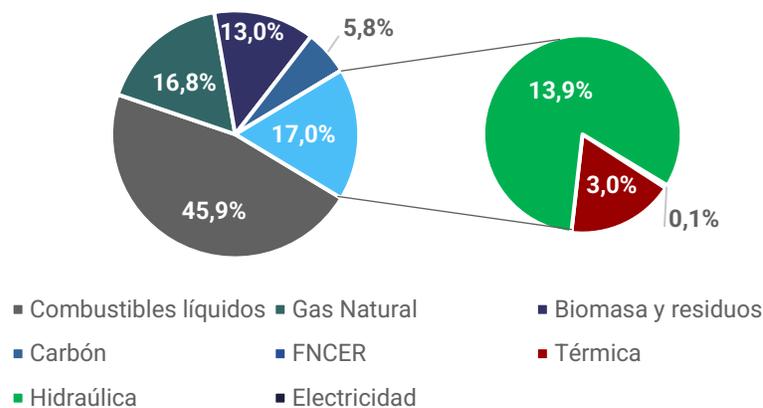
**Avance en la construcción de capacidad de generación eléctrica por FNCER:** En cuanto al avance de los proyectos de generación con fuentes no convencionales de energía renovable, al cierre de 2023, la capacidad instalada de Colombia rondaba el 2%, muy por debajo de lo que se había proyectado, si bien contamos con la buena noticia de la finalización de las consultas previas para uno de los dos proyectos de transmisión clave en el departamento de la Guajira.

### Alto potencial, avance limitado

Hasta ahora, Colombia ha logrado abastecer su demanda de energía mayoritariamente con recursos internos, sin embargo, las expectativas de largo plazo de oferta y demanda indican que la autosuficiencia energética podría terminar. Adicionalmente, el desafío de los próximos 30 años será abastecer una demanda creciente de energía utilizando menos combustibles fósiles. **Si bien los combustibles líquidos seguirán participando en la matriz energética, se puede dar paso hacia la descarbonización mediante su reemplazo por combustibles menos contaminantes como el gas natural y FNCER, junto con el logro de una mayor eficiencia energética.**

Colombia no es el único país latinoamericano con condiciones propicias para la energía eólica, tampoco el de mayor potencial solar, pero puede -debe- aprovechar su potencial, especialmente las condiciones excepcionales de La Guajira (Cárdenas, 2023). La Guajira cuenta con una densidad de poder eólico promedio en el top 10% de las áreas con mayor viento de cada región en Latam, asimismo está en el percentil 90 de áreas con mayor Potencial Práctico de generación de energía solar (PVOUT) de cada país latinoamericano.

**Gráfico 38. Oferta energética para consumo final en Colombia (2021)**



Fuente: UPME. Construcción: Corficolombiana.

A continuación, algunas conclusiones respecto a la evolución esperada del consumo energético final en Colombia, utilizando la información del Plan Energético Nacional 2022 – 2052<sup>27</sup>, asumiendo que la versión definitiva coincidirá con lo publicado hasta ahora. Nos referiremos a lo esperado para el año 2050, toda vez que ese es el año tomado como referencia para el cumplimiento de las metas climáticas. Asimismo, tomamos como punto de partida la información del Balance Energético Colombiano 2022 de la UPME. En el anexo 5 describimos la evolución esperada del consumo energético utilizando al PEN 2020 – 2050 como referencia.

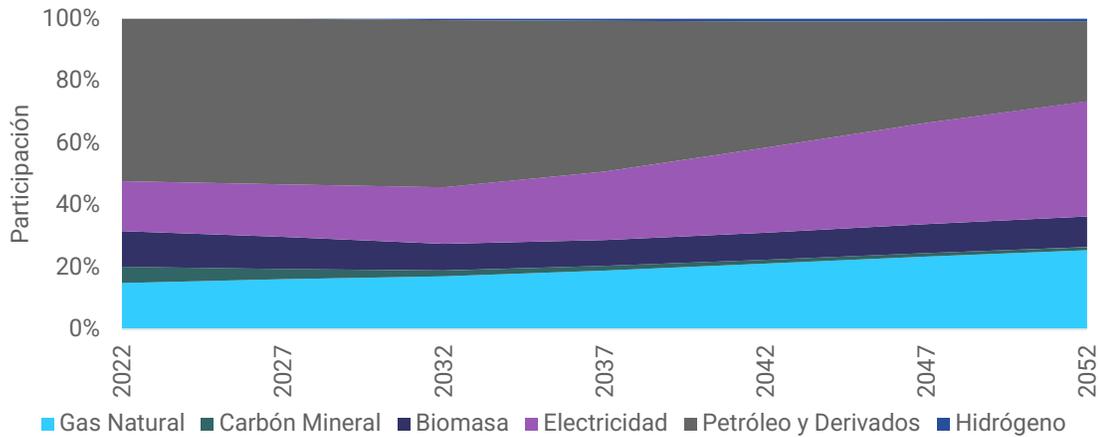
Tomando el promedio de las proyecciones del PEN 2022 – 2052 (Gráfico 39), el consumo total de energía del país pasará de 1.277 PJ en 2022 (PJ: peta-Julios, mil billones de Julios, 10<sup>15</sup> Julios) a 1.862 en 2050, creciendo 45,8% (1,4% anual), superando en más de 8% el consumo en el promedio del anterior PEN. En 2052 el consumo se ubicaría en 1.912 PJ.

- **Electricidad:** Su participación aumentará del 18,3% de 2021 al 35,4% en 2050 (260 peta-Julios a 659 peta-Julios). Esto será una buena noticia en la medida en que las fuentes utilizadas para la generación sean limpias. Este PEN se alinea más a las expectativas internacionales con relación a la electrificación (en el anterior PEN, la participación de la electricidad esperada para 2050 era de 22,8%).
- **Combustibles líquidos:** Disminuye su participación en el consumo total de 45,9% en 2021 a 28,3% en 2050, con lo valores absolutos pasando de 643 PJ a 527 PJ en 2050. En el anterior PEN, se registraba un incremento en el consumo de combustibles líquidos en términos absolutos (Anexo 5), lo cual se explica por el cambio en los escenarios. El consumo diario en barriles de petróleo equivalente en 2050 rondaría los 236 kbped, teniendo en cuenta el elevado nivel de conversión de las refinerías colombianas. Dada la producción actual del país cercana a 774 kbped, no parece un reto mayor, pero el equilibrio/desequilibrio fiscal del país cuenta con que parte de la producción se exporta, y mientras no se encuentre algo nuevo, esta producción deberá declinar durante los siguientes años.
- **Gas natural:** Su participación se incrementará del 16,8% en 2021 a al 24,7% en 2050 (de 236 PJ a 460 PJ). El consumo diario en millones de pies cúbicos ronda los 1.194, un nivel levemente superior a la producción promedio diaria de gas comercializado del país. Al gas le aplica lo mismo que al petróleo en cuanto a que mientras no se den hallazgos nuevos, su producción tenderá a declinar. Teniendo en cuenta el nivel actual, y el hecho de que actualmente no exportamos gas, cualquier disminución en la producción deberá ser compensada por importación.
- **Otros:** De 18,8% en 2021 a 11,6% en 2050 (de 264 PJ a 216 PJ). Incluye biomasa y residuos, carbón mineral y coque, e hidrógeno.

---

<sup>27</sup> El plazo para recibir comentarios respecto al Plan Energético Nacional 2022 – 2052 publicado fue el 21 de julio de 2023. No ha habido nuevos comunicados al respecto, ni se ha publicado una versión definitiva incorporando algunas de las observaciones recibidas, o completando la información publicada.

**Gráfico 39. Oferta energética para consumo final en Colombia – Participación (2022-2052)**



*Fuente: UPME. Construcción: Corficolombiana.*

Finalmente, destacamos lo que tiene que ver con la proyección del año en el que la oferta energética por FNCER en crecimiento, iguala a la oferta energética total de petróleo y gas que decrece el largo plazo. De acuerdo con lo publicado, este hito se presentará a partir de 2037 (escenario de transición) y el 2052 (escenario de actualización). **En ningún caso se está llevando a cero la oferta energética de combustibles fósiles.**

### **El transporte como motor de cambio y el proceso de electrificación en curso**

Como hemos visto hasta ahora, más que limpiar la matriz de generación eléctrica a nivel global -lo cual ayuda ciertamente-, el grueso de la transición energética está en incrementar la participación de la electricidad producida con fuentes de baja emisión de GEI en el consumo energético final, en reemplazo del consumo de combustibles líquidos y carbón. Esto implica la electrificación del sector transporte.

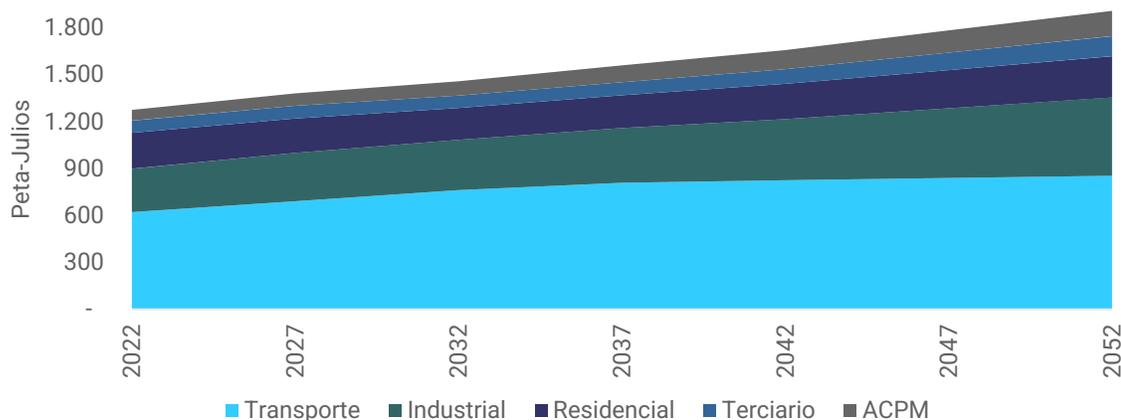
La transición energética en Colombia se ha centrado en la generación eléctrica y su limpieza, pero la generación eléctrica es apenas el 17% de la oferta energética total. Dada la limpieza de la matriz de generación eléctrica (a mayo de 2023, el 66,2% de la capacidad de generación era hídrica, el 30,6% térmica, 1,0% de Cogeneración y el remanente 2,2% corresponde a FNCER), la disminución en el consumo de combustibles fósiles deberá darse más en el sector transporte, lo cual a su vez dependerá de una mayor electrificación junto con la transformación de la flota de vehículos.

La electrificación pasa por la coordinación. Si se quiere modificar la composición de la matriz energética, se debe trabajar al tiempo sobre la oferta y la demanda. Por ejemplo, si se quiere incrementar la participación de la electricidad en el consumo energético final, se puede cambiar parte de la flota vehicular de combustible fósil a electricidad, mientras se aumenta la oferta eléctrica; si adicionalmente se quiere disminuir la emisión

neta de CO<sub>2</sub>eq, el incremento en la generación eléctrica requerido debe procurarse mediante fuentes renovables.

De acuerdo con las estimaciones del PEN 2050 y 2052, el sector transporte se mantendrá como el gran consumidor de energía independientemente del escenario que se materialice. **En promedio, para 2050 el sector transporte participará del 45,7% del consumo total 1,7 p.p. superior al consumo de 2020).** De forma desagregada, el modo con mayor contribución es el carretero (88%) incluyendo pasajeros y carga, seguido por el aéreo (10%). La UPME espera que en 2050 la industria participe del 25,8% (-2,4 p.p frente a 2020), el sector residencial del 13,7% (-5,0 p.p.), sector terciario 6,5% (+49 pbs) y otros 8,3% (+5,3 p.p.). Algunos cambios son importantes, si bien en todos los casos hay un crecimiento en el consumo final (Gráfico 40).

**Gráfico 40. Consumo de recurso energético en Colombia por sector (2022 - 2052)**



Fuente: UPME. Construcción: Corficolombiana.

#### Electrificación del parque automotor colombiano

La transformación del parque automotor colombiano está limitada por la elevada obsolescencia (baja tasa de renovación), principalmente en el transporte de carga. Con datos a 2021, la antigüedad del parque automotor en el país era de 17,5 años en comparación con los 9,3 años de Chile, 10,3 años de Brasil, 13 años de Perú y 14 años de México. Respecto a la composición por tipo de vehículo de transporte terrestre: 1) el 61% son motos, 2) el 35% vehículos y 3) el 1% maquinaria, remolques y semirremolques.

En este sentido, el cambio en la canasta energética para el sector transporte y su descarbonización, en línea con los compromisos de descarbonización del país, requiere que la rotación de vehículos sea más acelerada que la actual (desde que salen del concesionario hasta su desintegración), en particular, para las categorías de transporte de carga (camión, tractocamión, volquetas) y de pasajeros (buses y microbuses).

Debemos recordar que Colombia no cuenta con las capacidades técnicas en tecnología vehicular eléctrica debido a su poco desarrollo. El país no solo debe fortalecer las capacidades institucionales para poder responder de forma adecuada a todos los retos que involucra, sino que debe desarrollar los instrumentos técnicos necesarios para que los diferentes actores encuentren las condiciones claras bajo un marco técnico y legal consistente. Además de la problemática logística de cambiar al mismo tiempo la composición de la demanda y la oferta energética, la restricción presupuestal de las empresas -y hogares- es una limitante para la rotación de la flota y la transformación hacia vehículos eléctricos, que en la actualidad son más costosos. Hacen falta incentivos económicos para renovar el parque automotor, pues actualmente el precio es una limitante.

De acuerdo con la UPME, la paridad entre el precio de los vehículos eléctricos y los vehículos de gasolina se alcanzaría solo hasta 2040. Para ponerlo en contexto, en 2019 el costo de un carro eléctrico era cinco veces superior a uno convencional con las mismas prestaciones. Teniendo en cuenta los componentes de costo y medioambientales, puede resultar más razonable una transición intermedia hacia vehículos a gas, o reconocer en la planificación que el proceso hacia la electrificación del parque automotor será más demorado en estos países.

De acuerdo con la Proyección de Demanda de Energía Eléctrica, Gas Natural y Combustibles Líquidos 2022-2036 de la UPME (2022), se espera que a 2050 el 40% de los vehículos livianos vendidos sean eléctricos, así como el 30% de los vehículos del sistema de transporte masivo y el 40% de las motos. En la Ley 1964 de 2019 –que promueve el uso de vehículos eléctricos– se presentan incentivos para su uso a través de reducciones en aranceles, parqueo preferencial y también se plantean metas para la adquisición del sector público de la siguiente forma:

**Tabla 6. Meta de adquisición de vehículos eléctricos (sector público)**

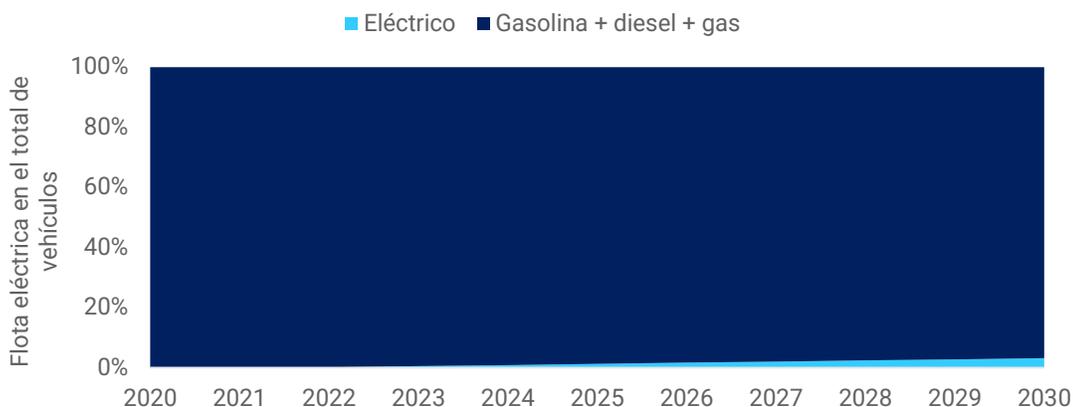
Plazo	Meta
Hasta 2025	Mínimo el 10% de los vehículos adquiridos
Hasta 2027	Mínimo el 20% de los vehículos adquiridos
Hasta 2029	Mínimo el 40% de los vehículos adquiridos
Hasta 2031	Mínimo el 60% de los vehículos adquiridos
Hasta 2033	Mínimo el 80% de los vehículos adquiridos
Hasta 2035	Mínimo el 100% de los vehículos adquiridos

*Fuente: UPME. Construcción: Corficolombiana.*

A pesar de las perspectivas positivas alrededor electrificación del parque automotor implícitas en las versiones actuales del PEN y la Hoja de Ruta de la TEJ, según la ACP (2023), en su informe de Mercado de Combustibles Líquidos en Colombia en un contexto de Transición Energética, se proyecta que cerca de 900 mil vehículos sean eléctricos a 2030; en julio de 2022 se registraron 28 mil de un total de 17,6 millones (0,16%).

Teniendo en cuenta lo anterior, el parque automotor eléctrico a 2030 representará solo cerca del 3,2% del total (Gráfico 41).

**Gráfico 41. Parque automotor de Colombia por tipo de vehículo**



*Fuente: UPME y ACP. Construcción: Corficolombiana.*

El consumo de combustibles líquidos y gas seguirá predominando en este escenario. En particular, se estima que la participación de vehículos a gasolina, diésel y gas se mantendrá por encima del 90%, lo que hace esencial asegurar la autosuficiencia de estos combustibles para evitar la dependencia de importaciones y garantizar el buen funcionamiento del parque automotor. Se prevé que este parque crecerá de 16 millones de vehículos en 2020 a 29 millones en 2030. Así, aunque la proporción de vehículos a gasolina, diésel y gas disminuya, su número absoluto aumentará (2020: 16 millones, 2030: 28 millones).

### **El gas como oportunidad de descarbonización: ¿en peligro?**

**De acuerdo con la información de la subsección anterior, la participación del gas natural en el consumo total anual incrementa 7,9 p.p. entre 2021 y 2050 (95,3% en volúmenes absolutos).** El incremento en el volumen consumido y en la participación sobre la matriz de consumo final, junto con la disminución en la participación de los combustibles líquidos y el carbón, implican una recomposición positiva a nivel de la emisión de GEI, corroborando **la condición de “combustible de transición” del gas natural.**

**Desafortunadamente, lo anterior representa una fuente de incertidumbre ante la incapacidad de satisfacer esa demanda futura de gas natural con producción interna y, en consecuencia, requerir de importaciones incrementales para suplir la demanda interna.** La producción de gas en Colombia es limitada, y la evolución de las reservas no permite esperar una mejora, al contrario. La incertidumbre incrementó a partir de las posturas cambiantes del gobierno en torno a la necesidad de explorar y producir gas internamente, junto con la situación de equilibrio justo que tiene el país actualmente. Sin embargo, la actualización del plan estratégico

de largo plazo de Ecopetrol evidencia que el tema hace parte de las prioridades del Gobierno actual. En el Plan Estratégico 2040 de Ecopetrol publicado durante el mes de septiembre, se confirmó que no va a haber exploración/producción de petróleo o gas de esquisto (*shale*), mientras que sí se va a trabajar por lograr la producción del gas *offshore* identificado hasta la fecha, junto con la producción de gas en el territorio colombiano.

Ciertamente, la continuación de las actividades exploratorias en el país anunciada el año pasado por el Ministerio de Minas y Energía en relación con la “Transición Energética Justa y Sostenible” (marzo, 2023), ratificadas con la actualización del plan estratégico de Ecopetrol (septiembre, 2023) ya mencionado, fueron una señal positiva. En todo caso, no sobra recordar la gravedad de llegar a un escenario de pérdida de autosuficiencia de gas en Colombia. De acuerdo con la información publicada por Promigas en su “Informe del Sector Gas Natural en Colombia 2023”, de frenar la nueva exploración (no incrementar reservas) bajo el funcionamiento actual del mercado de gas (capacidad de importación, capacidad de generación eléctrica a gas, etc.), el incremento en el valor presente del costo para suministrarle gas a Colombia hasta 2030 mediante importaciones crecientes equivale a 5,14 billones de pesos de hoy. A finales de la década, el aumento en el costo del gas sería de 28,7%, con un incremento de 50,9% en el costo de transporte, lo cual se traduciría en un incremento de más de 25% en la tarifa final, que podría incrementar aún más, dependiendo de la evolución de los precios internacionales de este combustible.

**En la práctica, no contar con gas nacional implica una disminución en las regalías y recurrir a precios de importación más elevados. Esta falta de autoabastecimiento implica una mayor falta de financiación de los costos asociados a la mitigación de los efectos del cambio climático, lo cual va a ser el caso mientras no se incorporen nuevas reservas de gas.**

## **Recursos requeridos y la importancia de los recursos del petróleo y gas**

Las inversiones requeridas para realizar la transición energética, lograr las metas climáticas globales y mitigar los efectos del cambio climático, son uno de los temas más relevantes en la actualidad, pues las inversiones son tan altas, que parecen poco probables de cumplir, aun contando con los recursos actuales (del petróleo y el gas) y la participación de la inversión privada. Adicionalmente, las medidas excepcionales que debieron tomar los gobiernos en 2020 y parte de 2021 debido al COVID-19, impactaron negativamente los balances fiscales, una dificultad adicional para lograr realizar las inversiones requeridas por la transición energética, donde los beneficios económicos y energéticos no son inmediatos. En el anexo 2 (Inversiones Requeridas) incluimos cuatro estudios publicados durante 2023. En esta subsección hacemos referencia a algunos análisis que se relacionan más con Latinoamérica y Colombia.

**Requerimiento de inversión en Colombia:** De acuerdo con el PNUD (Cárdenas & Osorio, 2023), la inversión que debe hacer el país para lograr el objetivo de contribuciones nacionalmente determinadas (NDC) es de entre 7,7% y 12,7% sobre el PIB de 2020 a 2050 (UNDP, 2022). Suponemos que este monto aumentaría en la medida en que estas inversiones se retrasen. Se trata de una carga mayor, teniendo en cuenta que el promedio de inversión fija sobre PIB del país oscila entre 18% y 23% (entre 2010 y 2023). La autosuficiencia energética y especialmente los aportes a la Nación del sector de Petróleo y Gas son vitales para invertir más en transición energética. Asimismo, la inversión requerida hace necesario vincular al capital privado.

**Impacto de la descarbonización en Colombia:** El informe "Understanding the impact of a low carbon transition on Colombia", publicado recientemente por WTW, la Universidad de los Andes y el Centro Regional de Finanzas Sostenibles, busca cuantificar el desafío de alcanzar la carbono-neutralidad partiendo de un modelo económico basado en la extracción de petróleo, gas y carbón, cuyos mercados podrían comenzar a reducirse en la próxima década. Según el informe, si estos riesgos no se abordan adecuadamente, el país podría perder hasta el 27% del PIB de 2019 a 2050..

**"Not so-magical realism: A climate stress test of the Colombian banking system" World Bank (2021):** Entre 1980 y 2080 la probabilidad de inundaciones crecerá entre 25% y 65% debido al cambio climático, y solo una pequeña parte de los daños económicos provocados está asegurada (entre 2% y 4%). Además, para que el país pueda alcanzar sus objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y evitar que el cambio climático se agrave, deberá introducir grandes cambios en su economía. No obstante, el impacto en el PIB registra fuertes aumentos con metas más elevadas. Con una meta de reducción de las emisiones de GEI del 51 % y un inicio postergado de la aplicación de políticas climáticas para 2026, mediante el modelo se determina que el valor agregado total disminuye entre un 25,7% y 55,7% en las industrias más afectadas entre 2028 y 2030<sup>28</sup>.

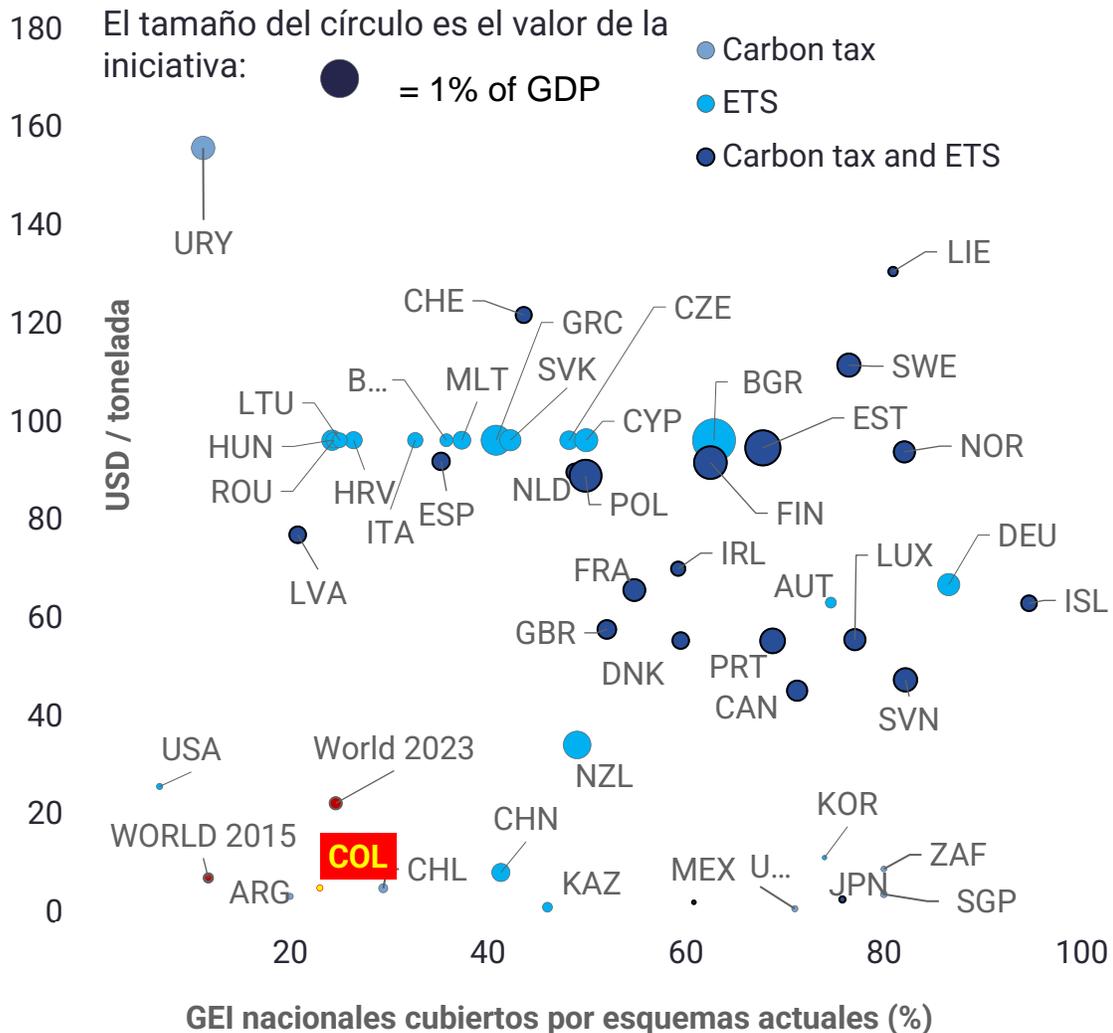
***Financing the Energy Transition in Latin America and the Caribbean: An Incomplete Puzzle (Center on Global Energy Policy, Columbia University, SIPA. 2023):*** La inversión en infraestructura para la mitigación del cambio climático y la adaptación asciende a USD 300 mil millones para Latinoamérica y el Caribe, de acuerdo con el FMI. Esta cifra equivale a 4,5% del PIB anualmente. **El FMI estima que el 80% de la necesidad de recursos sea para la mitigación y el resto para adaptación.** La financiación en transición energética es difícil, pero lo es más para la adaptación y mitigación. **En el "Reporte de brechas en adaptación" de las Naciones Unidas citado por el SIPA, se afirma que la inversión en adaptación debe escalar entre 5x y 10x frente a 2022.** Asimismo, destacamos que la mayor fuente de incertidumbre respecto a la inversión requerida es precisamente la

---

<sup>28</sup> El modelo utilizado (modelo de equilibrio general computable) no considera ningún cambio tecnológico en las simulaciones y, por lo tanto, puede sobrestimar los impactos económicos cuando la economía tiene tiempo para ajustarse, de modo que las simulaciones resultan más útiles para analizar impactos en un período corto.

velocidad de la transición energética; una transición más lenta implicará mayores requerimientos de inversión en adaptación y mitigación.

**Gráfico 42. Esquemas de precios al carbono explícitos (2022)**



Fuente: IMF (2023). Construcción: Corficolombiana.

**Recursos del sector minero-energético:** Habiendo evidenciado que la necesidad de recursos de inversión en transición, adaptación y mitigación en Colombia es enorme, es claro que, la importancia del sector minero energético colombiano no se limita a la seguridad energética que pasa por contar con recursos propios a precios exequibles, sino que, su adecuado funcionamiento es indispensable para contar con los recursos requeridos para la inversión. El sector aporta en impuestos, dividendos, regalías y divisas producto de las exportaciones, imprescindibles en la actualidad y con mayor razón en el futuro próximo si vamos a incurrir en las inversiones requeridas.

El adecuado funcionamiento del sector minero energético, además de contribuir con la seguridad energética del Colombia, propende por el logro de la sostenibilidad fiscal durante el proceso de transición energética, alineado con el “segundo” trilema: logro de las metas climáticas, factibilidad política **y sostenibilidad fiscal**. El país no tiene incorporado en su plan de desarrollo ni en su presupuesto la totalidad de la inversión requerida, por lo que no se puede dar el lujo de perder los aportes del sector de petróleo y gas, que soportan buena parte de los presupuestos públicos en la actualidad. En términos fiscales, el sector ha contribuido en los últimos cuatro años con aproximadamente 19 billones de pesos anualmente, incluyendo impuestos de renta, dividendos de Ecopetrol, regalías y derechos económicos de la ANH.

En la actualidad, los ingresos tributarios petroleros rondan el 2,3% del PIB, los no tributarios el 0,7% del PIB, y la participación del petróleo en las exportaciones asciende al 31,8% (% precios corrientes de 2023). Asimismo, en 2023, el 15,3% de la Inversión Extranjera Directa (IED) vino del sector petrolero y el 23,5% de la explotación de minas y canteras (incluyendo carbón). Además, según el Marco Fiscal de Mediano Plazo de 2024, el promedio de los ingresos petroleros para las vigencias 2024-2035 sería del 0,95%.

Reiteramos que, la totalidad de los mercados emergentes y economías en desarrollo (EMDEs, por sus siglas en inglés), la participación de la financiación privada es imprescindible. Por ejemplo, el FMI estima que para los países EMDEs, del total de inversión requerida para el propósito de mitigar el cambio climático, el 80% de la financiación debe ser privada (FMI, 2023). Esta financiación no estará disponible o será muy costosa para los países desajustados fiscalmente, y el equilibrio fiscal de Colombia necesita de los recursos de este sector.

## Recomendaciones para el proceso de transición colombiano

Esperamos que nuestro trabajo aporte elementos que sirvan para que el país se encamine en un proceso inclusivo, con el aporte y compromiso del sector privado, junto con la convicción de encaminarnos en la mejor transición viable para el país. Asimismo, esperamos que de nuestro análisis se afiance la convicción de que este “trabajo en progreso” no se limita al sector energético, y debe articular la participación de los demás actores (agricultura, construcción, transporte, etc.) y todas las partes interesadas. Se trata de un objetivo nacional, en el que estamos comprometidos para seguir participando de manera constructiva.

**Seguridad energética y emisiones:** Establecer una hoja de ruta de mediano a largo plazo para mantener la seguridad energética, definiendo acciones -e inversiones- específicas para asegurar el suministro de petróleo, gas, electricidad y minerales críticos necesarios durante la transición energética del país. Asimismo, establecer la ruta de emisiones para el sector de petróleo y gas, teniendo en cuenta la importancia de la renta petrolera (adicionamos “e inversiones”, el resto de la recomendación corresponde viene de la revisión a la política energética colombiana realizada por la IEA) (IEA, 2023).

**Regresar el componente “sostenible” a la TEJ:** Volver a hacer explícita una estrategia que garantice la sostenibilidad, mediante la disponibilidad de recursos de inversión requeridos por el país (exploración y explotación de combustibles líquidos y gas, autosuficiencia de la matriz energética, etc.).

**Precios al carbono:** Los países tienen la opción de generar ingresos para disminuir la carga de su deuda mediante los precios al carbono, pero basarse en dichos precios puede no ser políticamente viable (IMF, 2023). Hace falta terminar de diseñar y articular lo relacionado con impuestos al carbono, impuestos verdes, costo del carbono y el mercado de carbono colombianos (voluntario y regulado), articulado con los compromisos nacionalmente determinados (Gráfico 42). La incorporación de precios al carbono en los diferentes sectores debe ser gradual y ordenada, balanceando las metas de disminución de GEI del país, junto con los efectos económicos de la incorporación de estos precios al carbono. Debemos anotar que, en la nueva reforma tributaria (Ley de Financiamiento para el Presupuesto General de la Nación de 2025) que está tramitando el Gobierno Nacional al cierre de este informe, el incremento en la tarifa del impuesto al carbono no incrementa los recursos para temas ambientales ni sustitución de cultivos ilícitos.

**Integración a mercados internacionales de carbono:** La búsqueda de una integración en los mercados de carbono internacionales para Colombia tiene sentido en la medida en que puede vender proyectos de absorción (créditos de carbono actualmente negociados en mercados voluntarios). En cuanto a los mercados regulados de derechos de emisión, por ahora creemos que estos deben limitarse a cada país, en procura del cumplimiento de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC).

**Captura directa de CO<sub>2</sub>, reforestación y aforestación:** Con la información disponible a la fecha, el límite de 1,5°C se va a superar antes de 2030. Además del desarrollo planteado (FNCER, eficiencia energética, etc.), se va a requerir de captura directa de CO<sub>2</sub> atmosférico. La aforestación y reforestación es una manera probada de capturar GEI. En Colombia, este tipo de proyectos pueden servir para aliviar la carga de los diferentes sectores en los NDC del país. Parte del desarrollo del país podría darse a través de la venta de créditos y bonos de carbono al resto del mundo a partir de proyectos locales.

**Capital privado y direccionamiento de la inversión:** La decisión de invertir recursos públicos es positiva, pero para mantener la salud fiscal, debe reconocerse la necesidad de otros inversionistas o fuentes. Los precios del carbono son efectivos para direccionar la inversión a inversiones de bajas emisiones, pero debe complementarse con incentivos al capital privado (IMF, 2023), así como un incremento en la confianza inversionista: predictibilidad política, marcos institucionales y de gobierno, mantenimiento o mejora en las calificaciones de riesgo crediticio (riesgo país) e información. Asimismo, el FMI estima que para 2030, la participación de los recursos privados en las inversiones asociadas con la transición energética y mitigación climática deberá ubicarse alrededor del 90% en las economías en desarrollo y mercados emergentes, para mantener la viabilidad de las finanzas públicas (Anexo 2).

**Disponibilidad de Información:** Para evaluar el progreso del proceso de transición y atraer capital privado, es importante contar con información climática, energética y minera centralizada y actualizada. Información de proyectos de absorción de carbono, avance y regulación de los proyectos de generación por FNCER, cumplimiento de las NDC, información actualizada de reservas de minerales; presencia, garantías y participación de multilaterales en los diferentes proyectos y programas, etc. También es vital mantener estimaciones actualizadas de las inversiones requeridas en transición energética y mitigación de los problemas generados por el cambio climático. Seguramente los requerimientos luzcan imposibles, pero debe procurarse lograr una transición ordenada, toda vez que la procrastinación a nivel de esfuerzos e inversiones seguramente saldrá más cara.

**Regulación y señales:** Es fundamental fortalecer la independencia y el alcance de las autoridades regulatorias y de mercado, para que puedan tomar medidas que garanticen el funcionamiento eficiente de los mercados eléctricos, promoviendo una competencia efectiva y protegiendo a los consumidores (recomendación de la IEA). Es crucial completar la estructura de la CREG y preservar su relevancia y credibilidad. Esto, junto con el buen funcionamiento de la UPME, cubre por completo la recomendación de la IEA sobre la política energética colombiana en el sector eléctrico.

**Administrar el primer trilema:** El avance de la transición en Colombia debe seguirse mediante la evaluación del trilema energético: transición energética, seguridad energética y equidad energética. Lo que se ha publicado hasta ahora, la hoja de ruta de la TEJ se concentra especialmente en la equidad. En todo caso, al abordar el componente de “equidad” no sobra diferenciar entre el derecho a acceder a parte de los recursos generados por las exportaciones de hidrocarburos y minerales (regalías), con la participación sobre proyectos que se deben conectar al sistema eléctrico nacional. Es cierto que los proyectos deben beneficiar a las zonas donde se construyan, pero no se puede esperar que estos compensen todas las falencias de estas zonas.

**Administrar el segundo trilema:** Los gobiernos deben administrar el – segundo- trilema que se presenta entre el logro de las metas climáticas (en buena medida a través de la transición energética), la sostenibilidad fiscal y la factibilidad política. Para el flujo de recursos requerido por las medidas de mitigación, deberá balancearse entre los ingresos (por ejemplo, los impuestos al carbono), el gasto público y la inversión privada. **En todo caso, los egresos “verdes” deben estar incluidos en las cuentas de déficit y superávit fiscales.**

**Adaptación del proceso debido al contexto geopolítico:** La situación económica post COVID-19, junto con la invasión de Rusia a Ucrania, recordaron la necesidad de diversificar las fuentes energéticas, contar con mercados estables y cadenas de suministro resilientes, Así, la experiencia europea hizo explícita la necesidad de contar con un abastecimiento autónomo de gas, o por lo menos contar con sustitutos para garantizar en primer lugar la seguridad energética y después sí considerar los objetivos de cero emisiones globales de GEI en el largo plazo.

**Conclusiones de los Casos Tipo:** La revisión al caso Noruego coincide con la recomendación que le hizo la IEA a Colombia en su revisión a la política energética (IEA, 2023), en el sentido de aprovechar los recursos con los que cuenta el país en la actualidad para financiar su transición. Del caso alemán enfatizamos que el proceso debe ser gradual, garantizando en todo momento la confiabilidad del sistema, incluyendo al suministro de los combustibles empleados. Asimismo, no sirve de nada en términos de la emisión de GEI, incrementar la flota de transporte eléctrico si la electricidad utilizada se vuelve a generar a partir de fuentes fósiles.

**Talón de Aquiles de la transición global:** De acuerdo diversos estudios publicados durante el segundo semestre, la falta de cooperación política internacional es el “talón de aquiles” para la transición energética y el logro de los objetivos climáticos planetarios. Es importante buscar la colaboración internacional en torno a la “Justicia Climática” donde se reconozca que la mayor parte de los países más vulnerables al cambio climático han aportado poco en las emisiones de GEI globales. La diplomacia energética y en general lo relacionado con la acción climática y el rol del sector energético en Colombia deben ser una política de estado, independiente del gobierno de turno.

**Red eléctrica:** En Colombia debe dársele mayor atención a los factores que están causando problemas hoy (licencias ambientales, consultas previas), que han retrasado la conexión eléctrica de la Guajira con el resto del país. Las restricciones de red son el mayor cuello de botella actual para la expansión de la energía renovable a nivel global (incluyendo a EE.UU, Canadá y Europa). De acuerdo con DNV, en EE.UU. y Europa hay 1.000 GW de proyectos solares represados por problemas de interconexión (cuatro veces más que la capacidad instalada el año pasado). En relación a las medidas contingentes sobre el suministro de gas natural en Colombia al cierre de este informe, debemos recordar que si Colombia hubiese construido todas las líneas de alta tensión que ya tenía subastadas, mucho del gas que se consume en la región Caribe para generar electricidad sería desplazado por eólicas de La Guajira.

**Articulación en general y minería:** El carácter prioritario de la transición energética debe evidenciarse en las reglas de juego en torno a las consultas previas, licenciamiento ambiental, e incentivos tributarios. Asimismo, articular a los sectores diferentes al energético, como el sector minero. Hace falta llegar al nivel de las reservas minerales probadas, antes de contar con que el país participe de la transición como proveedor de minerales críticos. Contando con esa información se puede pasar a analizar los mecanismos que se podrían utilizar para integrar la producción informal (unidades y trabajadores informales) en cadenas de valor formales.

**Compromisos Colombia:** En los compromisos asumidos por el país (NDC) para 2030, que aumentaron del 20% al 51% en 2021, debe reconocerse la proporción de los compromisos que dependen del desarrollo de tecnologías que aún no funcionan a la escala requerida, para incorporar cierta flexibilidad en el cumplimiento de las metas.

**Transporte y más recursos:** El incremento en la electrificación implícito en el PEN y la Hoja de Ruta para la TEJ debe articularse con la electrificación del parque automotor, incluyendo su financiación. Lo mismo aplica para los planes sobre el transporte de larga distancia (gas, hidrógeno, etc.), la transformación de esta flota requiere de financiación, inversión en infraestructura, puntos de carga, etc. Adicionalmente, la infraestructura futura deberá incorporar los criterios de sostenibilidad, mientras garantiza la capacidad de soportar los efectos inevitables del cambio climático.

**Ecopetrol:** Se viene planteando ampliar las actividades permitidas a Ecopetrol para que soporte e impulse la transición energética en Colombia, por ejemplo, adquiriendo los proyectos de los que desistan los inversionistas privados debido a problemas con licencias ambientales, consultas previas, orden público, reforma tributaria, etc., como el parque eólico Windpeshi al Grupo Enel, entre otros. Sin embargo, el énfasis debería darse sobre las condiciones estructurales que están haciendo que los privados desistan, pues estas no cambian con la entrada de Ecopetrol.

Asimismo, más que la creación de una empresa pública de minerales (Ecominerales), que esperamos se convierta en una líder del sector, hace falta aterrizar lo antes posible cuál es el potencial y la ubicación de los minerales críticos y estratégicos para la transición energética y el desarrollo del país. Ciertamente se han realizado campañas para el reconocimiento en geofísico, geológico, análisis metalogénico, geoquímica y caracterizaciones de potencial mineral en diferentes zonas del país, pero aún falta la entrega por parte de la Agencia Nacional de Minería, de la delimitación y declaración de áreas de reserva, para ser explotadas, según se establece en el art. 20 de la Ley 1753 de 2015.

**COP – 16 (Cali, Colombia):** A diferencia de la COP 28 que se celebró en Dubai el año pasado, el enfoque de la COP-16 es más regional, le pone énfasis a la justicia climática, la inclusión de voces de comunidades vulnerables y la adaptación al cambio climático en el contexto latinoamericano. Esta COP busca fortalecer la colaboración regional mientras fomenta las acciones locales. Así las cosas, se trata de un escenario ideal para evidenciar las fortalezas del país, sin limitarse a su matriz energética, incluyendo los temas de aforestación y la biodiversidad, recordando, que próximamente, no bastará con certificar la captura de carbono mediante proyectos forestales, sino que estos deberán realizarse con especies nativas en procura de la conservación de la biodiversidad. Asimismo, es el escenario ideal para enfatizar algunos de los elementos de los trilemas energéticos ya mencionados: los componentes de seguridad y equidad del primer trilema, junto con el componente de sostenibilidad fiscal del segundo trilema.

## Conclusiones

La coyuntura internacional actual incluye elementos que pueden incidir en la implementación de la transición energética, comenzando por la evidencia del aumento en la temperatura mundial, con el récord de los últimos nueve años como los más calurosos desde 1880, año a partir del cual hay registro continuo (NASA, 2023). Asimismo, la guerra en Europa del este, la inflación y las tasas de interés elevadas, la desaceleración en el crecimiento económico, el grado de avance de algunas tecnologías requeridas en el proceso, entre otros, incidirán de manera heterogénea en el proceso de transición de cada país.

Más allá de sustituir combustibles fósiles por fuentes renovables como base para la producción energética, junto con una mayor participación de la energía eléctrica en el consumo energético final, el avance de la transición pasa por la disminución en las emisiones de carbono. En este sentido, el incremento en el consumo de carbón relativo a otros combustibles en Europa, junto con el aumento en la demanda global de petróleo, pueden interpretarse como un retroceso, teniendo en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a dicho consumo. **De hecho, si se definiera a la transición como el reemplazo de combustibles fósiles en términos absolutos, esta transición no ha comenzado.**

Sin embargo, aunque el consumo de combustibles fósiles -incluyendo los más contaminantes como el carbón- sigue aumentando a nivel mundial, el proceso de transición se ha acelerado a través de inversiones en tecnologías asociadas, que alcanzaran USD 1,8 billones en 2023 (IEA, 2023), incrementando alrededor de 50% respecto al año pasado. Asimismo, el ritmo de las inversiones deberá continuar aumentando (Anexo 2), traduciéndose en avances tecnológicos que permitan ser más optimistas con relación a las metas climáticas.

En el plano local, el retraso en la conexión de los campos de generación por Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) de la Guajira al Sistema Interconectado Nacional, se suma una elevada incertidumbre respecto al marco normativo del sector energético, la autosuficiencia en combustibles fósiles, y la versión completa y definitiva de la Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa que se publica el próximo año.

En Colombia observamos una brecha importante entre los anuncios y expectativas en torno a la transición y el grado de avance de los proyectos en curso asociados; las proyecciones oficiales vigentes de consumo energético final discriminado y los recursos que hasta ahora se han destinado al proceso (CONPES 4075 de 2022), etc. El seguimiento a estas brechas es importante, dada la necesidad de hacer un proceso coordinado a lo largo de toda la cadena energética, la oferta y el consumo, garantizando la seguridad energética del país y procurando su sostenibilidad.

Además de las inversiones anuales para cumplir con las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC) de Colombia, estimadas entre 7,7% y 12,7% sobre el PIB de 2020 a 2050 (Cárdenas et al, 2023), el país deberá

invertir en programas para la mitigación (y adaptación) de los efectos asociados al cambio climático, teniendo en cuenta su elevada vulnerabilidad. Un monto enorme teniendo en cuenta que la inversión total del Gobierno Nacional en 2024 está presupuestada en cerca de 5,9% del PIB. Según el Banco Mundial (2021), entre 1980 y 2080, el peligro de que se produzcan inundaciones en Colombia aumentará entre un 25% y un 65%, y sus daños podrían ubicarse entre los 23 y 25 mil millones de dólares en escenarios graves. La financiación de estas inversiones requiere de la participación privada, junto con esquemas de precios al carbono que involucren a todos los sectores emisores de GEI.

Las inversiones requeridas son inmensas, pero Colombia tiene restricciones fiscales que limitan la posibilidad de contar con los recursos requeridos para la transición energética. En 2023, el déficit fiscal fue 4,3% del PIB. Actualmente, el país no tiene incorporado en su plan de desarrollo ni en su presupuesto la totalidad de la inversión requerida, por lo que no se puede dar el lujo de perder los aportes del sector de petróleo y gas, que soportan buena parte de los presupuestos públicos en la actualidad. En términos fiscales, el sector ha contribuido en los últimos cuatro años con aproximadamente 19 billones de pesos anualmente, incluyendo impuestos de renta, dividendos de Ecopetrol, regalías y derechos económicos de la ANH.

En la actualidad, los ingresos tributarios petroleros rondan el 2,3% del PIB, los no tributarios el 0,7% del PIB, y la participación del petróleo en las exportaciones asciende al 31,8% (% precios corrientes de 2023), generando, además, flujos de divisas que aportan positivamente a la tasa de cambio. Asimismo, en 2023, el 15,3% de la Inversión Extranjera Directa (IED) vino del sector petrolero y el 23,5% de la explotación de minas y canteras (incluyendo carbón). Lo anterior incluye el efecto de la ley 2277 de 2022 (Reforma tributaria por la Igualdad y Justicia Social). Según el Marco Fiscal de Mediano Plazo de 2024, el promedio de los ingresos petroleros para las vigencias 2024-2035 sería del 0,95%.

Asimismo, Colombia tampoco se puede “dar el lujo” de pasar a ser un importador de combustibles, teniendo en cuenta que, en largo plazo, el país continuará demandando combustibles fósiles, como lo observamos en el Plan Energético Nacional a 2052. En ausencia de esta autosuficiencia, los aportes a la Nación relacionados no existirían, y utilizando las cantidades de hoy, se deberán importar alrededor de 1.157 MPCD de gas a un costo 62% superior a los precios actuales, y alrededor de 500 kbped para refinar.

Tal como en el resto del mundo, debido su bajo costo y menor contaminación asociada, se espera que el gas se mantenga como combustible de transición y su consumo persista e incremente inclusive cuando comience a disminuir la participación relativa de los combustibles líquidos en el consumo energético final. Hasta ahora, debido a la autosuficiencia del país, se ha contado con precios de gas menores a los correspondientes a su importación, pero esta autosuficiencia no está garantizada. Mantener la autosuficiencia pasa por seguir invirtiendo en exploración y producción de gas. Al cierre de este informe, recibimos la noticia de la suspensión de las actividades de exploración y explotación de gas en el área de interés de perforación Tayrona en el pozo

Uchuva 2. Actualmente, se trata de la apuesta en el *offshore* colombiano con mayor probabilidad de resultar económicamente viable.

Finalmente, la contaminación asociada a la utilización de combustibles fósiles se presentará en la medida en que haya consumo a nivel mundial, independientemente del país que produzca dichos combustibles. Con cifras a 2021, Colombia aporta el 0,54% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, de los cuales históricamente menos de la tercera parte corresponden a la energía y su uso (transporte, electricidad, etc.). Lo más razonable, desde nuestro punto de vista, es aprovechar la seguridad energética con la que contamos y apalancar nuestra transición energética con los recursos que aporta el sector de petróleo y gas (tal como lo hace Noruega). Lo más razonable, desde nuestro punto de vista, es aprovechar la seguridad energética con la que contamos y apalancar nuestra transición energética con los recursos que aporta el sector de petróleo y gas (tal como lo hace Noruega). Esperamos que parte del contenido de este trabajo pueda servir para direccionar de la mejor manera la transición energético colombiano.

## ANEXOS

### ANEXO 1. GLOSARIO, SIGLAS, UNIDADES, ESCALAS

A lo largo del texto, explicamos el significado de cada uno de los términos utilizados en el documento, como parte del texto o como nota a pie de página, la primera vez que aparecieron en el documento. En este anexo listamos dichos términos en orden alfabético para utilizar como referencia. Estas definiciones están en lenguaje llano (no es un glosario técnico) y corresponden con las explicaciones realizadas a lo largo del texto. En varios casos, las definiciones de este glosario. En el caso de las agencias, entidades, autoridades, etc., nos limitamos a relacionar los nombres con las siglas, así como los nombres en inglés, sin entrar a describir qué hace cada cual.

**Dimensionamiento de las unidades utilizadas:** Para cada unidad, en función a la presentación o formato utilizamos kilo ( $10^3$ ), mega ( $10^6$ ), giga ( $10^9$ ), tera ( $10^{12}$ ), peta ( $10^{15}$ ) y exa ( $10^{18}$ ). Cuando utilizamos Teniendo en cuenta la variabilidad gigante que hay por ejemplo cuando hablamos de la energía global o por países. Cuando nos referimos a cantidades en dinero, en todos los casos usamos billón para referirnos a un millón de millones ( $10^{12}$ ).

- **Acción Climática:** Cualquier política o medida con el objetivo de reducir los gases de efecto invernadero.
- **Acuerdo de París:** Tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante, adoptado por 196 partes (países) en 2015 y entró en vigor en 2016. Con el objetivo de limitar el calentamiento global (incremento en la temperatura promedio) a 2°C respecto a los niveles preindustriales, el pacto se traduce en una disminución en la emisión neta de CO<sub>2</sub> por parte de cada una de las partes que han adoptado este acuerdo.
- **Aforestación:** Plantación de nuevos bosques en tierras donde anteriormente no había.
- **Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA por sus siglas en inglés):** *International Renewable Energy Agency.*
- **Agencia Internacional de Energía:** IEA por sus siglas en inglés. *International Energy Agency.*
- **APS: Announced Pledges Scenario.** Escenario de Promesas Anunciadas. Escenario de la EIA respecto a la implementación de la transición energética.
- **Billones (\$):** Millones de millones ( $\times 10^{12}$ ). La convención anglosajona es miles de millones ( $\times 10^9$ ). En este texto en TODOS los casos billones corresponde a  $\times 10^{12}$ .
- **Bono de carbono:** Un bono de carbono representa una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente capturada, o reducida, mediante el desarrollo de un proyecto que da como resultado la reducción o captura de CO<sub>2</sub>eq.
- **BTU, Btu:** Sigla en inglés de Unidad Térmica Británica. Energía (energía calorífica) requerida para aumentar en 1°F una libra de agua (453 cm<sup>3</sup>).
- **Calentamiento Global:** Incremento gradual en la temperatura promedio de la tierra, causada por el efecto de GEI.
- **Cambio Climático:** Cambio de largo plazo en la temperatura global y los patrones climáticos.
- **Carbono-Neutralidad:** Estado en el que las actividades de un país, empresa o individuo no generan emisiones netas de CO<sub>2</sub>. Idealmente incluye a todos los GEI, no solo el CO<sub>2</sub>.
- **CCUS:** Carbon Capture, Utilization and Storage. Captura, Utilización y Almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Se hace referencia al CCUS en términos de tecnologías y capacidad de CCUS. Cuando se utiliza CCS, no se incluye la utilización.
- **CFC:** Clorofluorocarbono.
- **CH<sub>4</sub>:** Gas Metano.
- **Clorofluorocarbono:** CFC.
- **CMNUCC:** Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, UNFCCC por sus siglas en inglés.
- **CO<sub>2</sub>:** Dióxido de Carbono.
- **CO<sub>2</sub>eq:** Dióxido de Carbono Equivalente. Unidad utilizada para convertir las emisiones de GEI diferentes al CO<sub>2</sub>. Las emisiones de los GEI diferentes al CO<sub>2</sub> se convierten a CO<sub>2</sub>eq multiplicando cada gas por su 100 GWM (Potencial de Calentamiento Global durante un periodo de 100 años luego de que el gas es emitido).
- **Combustible de Transición:** Combustible fósil que genera menos GEI frente a otros combustibles más contaminantes como el petróleo y especialmente el carbón.
- **Conferencia de las Partes:** COP, Cumbre anual realizada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC (UNFCCC por las siglas en inglés).
- **Confiabilidad energética (o Respaldo energético):** Disponer de energía en todo momento. En el caso de la energía eléctrica, tener la capacidad de generarla en todo momento.
- **Consumo Energético Final (Consumo Final de Energía):** Energía total utilizada o consumida por los usuarios finales (personas y empresas).
- **Contaminación (atmosférica):** Cambio en las características naturales de la atmósfera causado por agentes químicos, físicos o biológicos.
- **Contribución Nacionalmente Determinada:** NDC por sus siglas en inglés. Compromiso de reducción de GEI a nivel país.
- **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático:** CMNUCC, UNFCCC por sus siglas en inglés
- **COP:** Conferencia de las Partes.
- **ct/kWh:** Centavos por kWh. En el texto hacemos referencia a centavos de euro únicamente.

- **Desacoplamiento:** Pérdida de asociación positiva entre el crecimiento del PIB, el uso de energía y las emisiones netas de CO<sub>2</sub>.
- **Desarrollo Sostenible:** El desarrollo que cumple con satisfacer las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus necesidades.
- **Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>):** Principal Gas Efecto Invernadero (GEI), el relacionado con actividades humanas se libera principalmente en i) el consumo de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y sus derivados, y -en menor medida- el gas natural; además de la quema leña para generar energía, ii) la deforestación, los incendios forestales, el cambio en el uso de la tierra, y iii) algunos procesos industriales como la producción de cemento. El término “carbono” también se utiliza para hacer referencia al dióxido de carbono.
- **Dióxido de Carbono Equivalente:** CO<sub>2</sub>eq.
- **Dpb, dpb:** Dólares por barril.
- **Eficiencia energética:** Relación entre el crecimiento del PIB y el consumo energético.
- **Electrificación:** Incrementar la cobertura del servicio eléctrico y el consumo de la electricidad. En el contexto de la Transición Energética incluye el incremento en la participación de la energía eléctrica en el consumo energético final.
- **Emisiones Brutas y Emisiones Netas de GEI:** Las netas resultan de restarle la captura de CO<sub>2</sub> (natural y artificial) a las emisiones brutas de la zona o emisor que esté reportando.
- **Energía:** La energía es la capacidad para realizar un trabajo (poner en movimiento, transformar, etc.), y existe bajo diferentes formas como potencial, cinética, térmica, eléctrica, química, nuclear, etc.
- **Energías renovables:** ver Fuentes Renovables de Energía.
- **Energiewende:** Programa de transición energética alemán.
- **Equidad energética:** Equidad reconoce la desventaja histórica de algunas poblaciones en términos de polución, falta de inversión en energía limpia, falta de acceso a soluciones energéticas eficientes para el transporte, etc.
- **Era Pre-industrial:** Anterior a la revolución industrial (1760 a 1840). “Nivel preindustrial” hace referencia a la temperatura promedio global antes de la revolución industrial.
- **FNCER:** Fuentes No Convencionales de Energía Renovable.
- **Fuentes Combustibles Fósiles de Energía:** Carbón, petróleo y gas.
- **Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER):** Sol (solar), viento (eólica) y calor interno de la tierra (geotérmica).
- **Fuentes Renovables de Energía:** Sol (solar), viento (eólica) y agua en movimiento (hidráulica o hidroeléctrica).
- **Gas Metano:** CH<sub>4</sub>
- **Gas Natural Licuado:** GNL, LNG por sus siglas en inglés.
- **Gases Efecto Invernadero (GEI):** Son gases que se acumulan en la atmósfera impidiendo el escape de calor, resultando en el cambio climático, que incluye el incremento de la temperatura atmosférica promedio en el largo plazo (calentamiento global). Los GEI más representativos (por su participación) son el dióxido de carbono, el gas metano y el óxido nitroso. Los GEI se miden en unidades de óxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq).
- **GEI:** Gases Efecto Invernadero
- **GNL:** Gas Natural Licuado.
- **Grado Fahrenheit (°F):** Medida de temperatura. La conversión es (Número de grados centígrados \* 9/5) + 32 = Número de grados Fahrenheit.
- **GTP:** *Global Temperature-change Potential* (Potencial de Cambio de Temperatura Global).
- **GWP:** *Global Warming Potential* (Potencial de Calentamiento Global).
- **HFC:** Hidrofluorocarbonos.
- **Hidrofluorocarbonos:** HFC
- **Hoja de ruta:** Programa detallado para el logro de un objetivo.
- **Huella de Carbono:** Emisión neta de CO<sub>2</sub> asociada a las diferentes actividades humanas. En la práctica, se debe utilizar la emisión neta de GEI, medida en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq).
- **IEA:** Sigla en inglés de Agencia Internacional de Energía
- **Impuesto al Carbono:** Uno de los instrumentos económicos utilizados como mecanismo de fijación de precios al carbono a nivel mundial, a través de un gravamen sobre el contenido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) emitido.
- **International Renewable Energy Agency:** IRENA, Agencia Internacional de Energía Renovable.
- **IPCC:** *International Panel on Climate Change*. Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, auspiciado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- **IRENA:** *International Renewable Energy Agency*. Agencia Internacional de Energía Renovable.
- **J:** Julio.
- **Julios (J):** Unidad con la que se mide la energía de acuerdo con el sistema internacional (SI) de medidas. al trabajo (energía) realizado por la fuerza de un newton (N, unidad del SI) cuando su punto de aplicación actúa sobre una distancia de un metro (m) en la dirección de la fuerza aplicada.
- **Justicia Climática:** Incorpora el concepto de equidad energética. Para efectos de este texto también lo utilizamos para referirnos a la responsabilidad relativa de cada país sobre el problema climático, teniendo en cuenta sus emisiones históricas y actuales, así como los recursos disponibles para invertir en la transición energética.
- **kbpd:** Miles de Barriles de Petróleo Diario.
- **kbped:** Miles de Barriles de Petróleo Equivalente Diario.
- **Matriz de generación eléctrica:** Distribución por fuentes de la capacidad de generación eléctrica.
- **Matriz energética:** Combinación de la totalidad de fuentes de energía primaria en un sistema energético. En ocasiones se utiliza el término para hacer referencia a la distribución del consumo final.
- **Mbd:** Millones de Barriles Diarios.
- **Mbod:** Millones de Barriles de Petróleo Diario
- **Mercado de Carbono:** Sistemas transaccionales donde se compran y venden créditos de carbono (derechos de emisión de GEI). Los instrumentos transados pueden venir de derechos de emisión sin utilizar o de proyectos que certifican la captura de unidades de carbono.

- **Mercado Voluntario de Carbono:** Mercado de participación voluntaria donde se transan créditos o bonos de carbono, que corresponden al derecho de emitir unidades de CO<sub>2</sub>eq, a partir de la certificación de la absorción y captura de CO<sub>2</sub>eq.
- **Metano:** CH<sub>4</sub>.
- **Modelos climáticos:** Modelos matemáticos que caracterizan la interacción entre energía y materia en diferentes partes del océano, atmósfera y tierra, y su efecto sobre el clima (temperatura, viento, presión atmosférica, etc.). También conocidos como modelos generales de circulación.
- **MtCO<sub>2</sub>eq:** Millones de Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente.
- **MWh:** Mega Vatio-Hora.
- **N<sub>2</sub>O:** Óxido Nitroso.
- **NDC:** Sigla en inglés de Contribución Nacionalmente Determinada (*Nationally Determined Contributions*).
- **Network for the Greening of the Financial System:** NGFS, Red para el Reverdecimiento del Sistema Financiero, es una red de bancos centrales y supervisores financieros que voluntariamente comparten las mejores prácticas y contribuyen para alcanzar las metas climáticas.
- **NGFS:** Siglas en inglés de Red para el Reverdecimiento del Sistema Financiero (*Network for Greening the Financial System*).
- **NZE:** *Net Zero Emissions*, Cero Emisiones Netas. Escenario de la EIA respecto a la implementación de la transición energética.
- **Óxido Nitroso:** N<sub>2</sub>O
- **Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático:** IPCC por sus siglas en inglés
- **PFC:** Perfluorocarbonos.
- **PNCTE:** Programa Nacional de Cupos Transables de Emisión de Gases Efecto Invernadero.
- **Poder Calorífico:** Cantidad de energía (calor) por unidad de masa que puede generar un combustible al producirse una reacción química de oxidación.
- **Programa Nacional de Cupos Transables de Emisión de Gases de Efecto Invernadero:** PNCTE
- **Red para el reverdecimiento del Sistema Financiero:** NGFS por sus siglas en inglés. *Network for Greening the Financial System*.
- **Respaldo Energético:** Confiabilidad Energética.
- **Seguridad Energética:** La Seguridad tiene que ver con la disponibilidad de energía en todo momento y a un precio asequible,
- **Sistema de Comercio de Emisiones-RE:** Futuro Sistema de Comercio de Emisiones colombiano. Actualmente en construcción.
- **Sistema de Comercio de Emisiones: SCE:** Mercado de Carbono regulado, donde se tranzan derechos de emisión.
- **Soberanía Energética:** Derecho de los individuos y pueblos a tomar sus propias decisiones respecto a la cadena energética (generación, distribución y consumo).
- **STEPS:** Sigla en inglés de Escenario de Políticas Declaradas (*Stated Policies Scenario*). Escenario de la EIA respecto a la implementación de la transición energética, en el que los países se limitan a aplicar las políticas que ya tienen aprobadas en sus respectivas jurisdicciones.
- **tCO<sub>2</sub>eq:** Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente.
- **Tecnologías CCS:** Tecnologías de Captura y Almacenamiento (CCS por las siglas en inglés) de CO<sub>2</sub>.
- **TEJ:** Transición Energética Justa.
- **Tiempo de Vida Atmosférico:** Tiempo durante el cual la molécula de un compuesto permanece en la atmósfera antes de transformarse químicamente o ser absorbida (por la tierra, el mar, los árboles, etc.).
- **Transición Energética:** La transición energética es el cambio de producir y consumir energía a partir de sistemas basados en fuentes combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), hacia sistemas basados en fuentes renovables (sol, viento y agua en movimiento), con el objetivo de disminuir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) emitidos en el uso de fuentes fósiles
- **Unidad de Planeación Minero-Energética:** UPME
- **UPME:** Unidad de Planeación Mineo Energética
- **Vatio-Hora:** Wh, Unidad de energía expresada en forma de potencia por tiempo, donde la potencia es el trabajo realizado por segundo. Recordemos que la energía es la cantidad total de trabajo realizado. Tal como con las otras unidades utilizadas, estas son escaladas de acuerdo con el sistema internacional de unidades, donde 1 kilovatio-hora (kWh) es 10<sup>3</sup>Wh, 1 Megavatio-hora (MWh) es 10<sup>6</sup>Wh, etc.
- **Wh:** Vatio-Hora

## ANEXO 2. INVERSIONES REQUERIDAS (ordenado por año de publicación) \*

Fuente	Año de publicación	Enfoque regional	Horizonte temporal	Escenario de política	Alcance (inclusión) del cálculo	Propósito	Presentación	Necesidad de financiación anual (miles de millones USD)	Inversiones totales acumuladas si aplica (miles de millones USD)
1. Paredes (IADB)	2017	LAC	2016 - 2030	Rutas para llegar a una matriz eléctrica basada en renovables entre 70% - 80%.	Generación eléctrica	Mitigación	Acumulado	61 - 62	853 - 873
2. ECLAC	2020	LAC	2019 - 2032	Rutas para llegar a una matriz eléctrica basada en renovables entre 70% - 80%.	Generación eléctrica	Mitigación	Acumulado	62 - 66	811 - 852
3. IRENA	2020	Global	2017 - 2050	Transformación energética (incremento de temperatura bajo 2°C y tendencia hacia 1,5°C durante el siglo.	Energía, varias partes de la cadena energética.	Mitigación	Acumulado	124	4.09
4. Brichetti et al. (IADB)	2021	LAC	2020 - 2030	#7 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (acceso a la energía)	Generación eléctrica	Mitigación	Acumulado	57	577
5. IEA	2021	EMDE	2026 - 2030	Escenario de Desarrollo Sostenible, donde se limita el calentamiento global a 1,65°C	Sector energético	Mitigación	Acumulado	189	2.649
6. UNFCCC	2021	Global	2020 - 2030	Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs)	Todos los sectores	Mitigación y adaptación	Acumulado	17	168
7. IRENA	2022	Global	2021 - 2050	NZE 2050 (IEA) o limitar a 1,5°C el calentamiento global	Energía	Mitigación y adaptación	Costos acumulados de las NDCs	83	2.4
8. FMI	2022	EMDE	2015 - 2030	Compatible con lograr la estabilización del calentamiento a 2°C	Infraestructura energética (mitigación) e infraestructura general (adaptación)	Mitigación y adaptación	Inversiones anuales promedio más brecha de financiación	297	N/a
9. Cárdenas et al.	2022	Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú	2020 - 2050	Basado en NDCs	Economía	Mitigación	% anual del PIB	240 - 300	n/a
10. McKinsey	2022	Global	2021 - 2050	NZE 2050	Energía y uso de la tierra (incluyendo combustibles fósiles)	Mitigación	Promedio anual	700	n/a
11. IEA	2023	EMDE	2026 - 2030; 2031 - 2035	Escenario de Desarrollo Sostenible y NZE 2050	Energía (subsector energía limpia)	Mitigación	Promedio anual	EDS: 150 - 209; NZE: 243 - 332	n/a
12. IEA	2023	Global	2022 - 2030	NZE 2050	Energía limpia	Mitigación	Veces (inversión anual en 2030 frente a la de 2022)	USD 3,5 billones en promedio	USD 28,4 billones
13. Center on Global Energy Policy (CGEP) - Universidad de Columbia**	2023	Latinoamérica y el Caribe	2021 - 2050	Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC)	Financiación requerida con información financiera relacionada	Mitigación	771 necesidades expresadas, 166 con información financiera (costos incluidos acá)	USD 19 mil millones	USD 168 mil millones
14. IMF	2023	Mercados emergentes y economías en desarrollo (EMDEs, por sus siglas en inglés)	2020 - 2030	Inversiones requeridas en mitigación climática	Rol de la financiación privada	Mitigación	Inversión anual y participación privada	USD 1,28 billones (40% de financiación privada)	USD 12,8 billones (80% de financiación privada, 90% excluyendo a China).

Fuente: Center on Global Energy Policy at Columbia SIPA (2023). Financing the Energy Transition in Latin America and the Caribbean: An Incomplete Puzzle. Tabla A-1: Survey of investment estimates for LAC's energy transition in terms of policy or emission reduction scenario, scope and purpose. Tomado de: [https://www.energypolicy.columbia.edu/wp-content/uploads/2023/09/LAC-EnergyTransition-Commentary\\_CGEP\\_091823.pdf](https://www.energypolicy.columbia.edu/wp-content/uploads/2023/09/LAC-EnergyTransition-Commentary_CGEP_091823.pdf). \* En esta table nos referimos a USD miles de millones de millones y billones, para lo que en la table original aparece como USD billion y trillion. Asimismo. \*\* Financiamiento de contribuciones nacionalmente determinadas, tomado del mismo informe de donde salió la mayor parte del anexo. \*\*\* Las fuentes 12, 13 y 14 no aparecen en la tabla original de donde tomamos el resto de la información.

## ANEXO 3. REFERENCIA HISTÓRICA DEL GAS NATURAL

El consumo de energía por parte de la sociedad humana se ha transformado en línea con los avances tecnológicos y los desarrollos en las dinámicas productivas. Antes de que la humanidad experimentara la revolución industrial, las fuentes de energía se limitaban a las que pudieran proveer la fuerza muscular humana y las biomasas como la leña. Durante la edad media, se utilizaban molinos de viento y agua para el desarrollo de cosechas, pero su contribución en la cadena productiva era marginal.

Durante el siglo XVIII, la revolución industrial significó la primera transformación importante en la manera en la que se conseguía la energía: el carbón fue la materia prima más destacada en los procesos productivos de la época. Con él, se consolidó el uso de las máquinas a vapor y se explotó la producción a escala que ofrecían, por ejemplo: las fábricas textiles y siderúrgicas. El uso de energía térmica para transformarla en energía mecánica fue un pilar fundamental de esta transformación (Rodríguez, 2020).

Posteriormente, a finales del siglo XIX, en EE. UU. se descubrió el primer pozo petrolero para fines comerciales, materia prima con mayor contenido energético que las descubiertas anteriormente. Su uso y relevancia fue cada vez más importante durante el siglo XX y apoyó el proceso de industrialización de la mayoría de las economías.

En cuanto al gas natural, se sabe que en el siglo X a.c. la civilización china descubrió gas en las perforaciones que se realizaban para extraer sal, y este era canalizado a través de cañas de bambú. Así mismo, las civilizaciones griega y romana se percataron de la existencia del gas indirectamente, a través del petróleo en el mar Caspio. Sin embargo, la evidencia indica que no fue sino hasta inicios del siglo XIX que el gas natural se comenzó a utilizar con fines productivos con el propósito de proveer alumbrado público con gas producido a través del carbón, una fuente no convencional de gas.

Ahora bien, como se mencionó anteriormente, el gas natural se encuentra directamente en los yacimientos de petróleo que se vienen explotando desde el siglo XIV. Sin embargo, durante la mayor parte de este siglo el gas no tuvo mayores aplicaciones debido a la inexistencia de tuberías que permitieran su transporte. De esta manera, a mediados del siglo XX, con un avance considerable en la industria siderúrgica y con ello, en la fabricación de tuberías, los países más ricos comenzaron a construir redes de gasoductos que permitieran su transporte y utilización en fábricas y en el sector industrial en general (Castaneda, 1999). Actualmente, el gas es utilizado en múltiples tareas productivas, asimismo, viene siendo utilizado como reemplazo de combustibles fósiles más contaminantes como los derivados del petróleo y el carbón, en la generación eléctrica, calefacción y transporte vehicular.

## ANEXO 4. REGULACIÓN

### Política de transición energética (CONPES 4075)

En marzo de 2022, el Consejo Nacional de Política Económica y Social y el Departamento Nacional de Planeación publicaron la Política de Transición Energética, mediante el Documento CONPES 4075. Este documento reitera que el objetivo de la transición energética es lograr una electrificación limpia, reconociendo que, en el camino a ellos, los combustibles fósiles tendrán que jugar un rol importante. Asimismo, además de hacer un listado exhaustivo de la regulación publicada que se relaciona con el tema, junto con la conveniencia de seguir las recomendaciones planteadas en trabajos como la Misión de transformación energética (2020), la hoja de ruta del hidrógeno (2022), la hoja de ruta para la incorporación de la energía eólica costa afuera (2022), el Plan Energético Nacional 2020-2050 (2020) y la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (2022); aclara que los avances en la materia han sido parciales, de naturaleza de corto y mediano plazo, con falta de articulación entre los sectores que representan la base del desarrollo energético Colombiano.

El objetivo general de la política es “consolidar el proceso de transición energética a través de la formulación e implementación de acciones y estrategias intersectoriales que fomenten el crecimiento económico, energético, tecnológico, ambiental y social del país con el fin de avanzar hacia su transformación energética”.

El CONPES 4075 se basa en cuatro ejes estratégicos que se esperan cumplir mediante el desarrollo de veintiún líneas de acción, así:

- Estrategia para incrementar la seguridad y confiabilidad energética:
  - Línea de acción 1: Promoción en incremento de la eficiencia energética.
  - Línea de acción 2: Fortalecimiento de la planeación de los mercados energéticos.
  - Línea de acción 3: Implementación de iniciativas para la incorporación sostenida de reserva de gas y crudo.
  - Línea de acción 4: Acceso a infraestructura de abastecimiento segura, eficiente y confiable de hidrocarburos.
- Estrategia para incrementar los recursos para promover la innovación y conocimiento en transición energética:
  - Línea de acción 5: Lineamientos y estrategias para promover el desarrollo y uso del hidrógeno a nivel nacional.
  - Línea de acción 6: Investigación aplicada y formación de capital humano para el despliegue de la transición energética.
  - Línea de acción 7: Formalización institucional, fortalecimiento de capacidades regionales y socialización de los componentes de movilidad sostenible.
  - Línea de acción 8: Estrategias para el fortalecimiento normativo de la etapa de cierre y abandono minero.
  - Línea de acción 9: Estructuración de iniciativas e investigación el desarrollo de nuevas tecnologías en el sector minero-energético.
- Estrategia para incrementar las medidas para fomentar la competitividad y el desarrollo económico desde el sector minero energético:
  - Línea de acción 10: Iniciativas para incrementar la cobertura del servicio de energía eléctrica y mejorar la calidad del servicio en Zonas No Interconectadas (ZNI).
  - Línea de acción 11: Eficiencia en la prestación del servicio de alumbrado público.
  - Línea de acción 12: Implementación de medidas de digitalización, fiscalización, y gestión, de la información del sector minero-energético.
  - Línea de acción 13: Desarrollo de instrumentos para la promoción de la industria nacional de.
- Estrategia para desarrollar un sistema energético con bajas emisiones de GEI:
  - Línea de acción 14: Estrategia para incentivar la producción de minerales necesarios para la transición energética.
  - Línea de acción 15: Estrategia para incentivar el aprovechamiento de recursos y reservas de carbón y promover la diversificación económica de las regiones con alta dependencia del sector extractivo.
  - Línea de acción 16: Definición de estrategias y lineamientos para promover el desarrollo social en transición energética.
  - Línea de acción 17: Definición de lineamientos técnicos, financieros y de planeación para el ascenso tecnológico en el sector transporte.
  - Línea de acción 18: Medidas para fortalecer el posicionamiento del gas como combustible de la transición y de confiabilidad del sistema energético.
  - Línea de acción 19: Fortalecer el programa de sustitución de leña por gas combustible e integrar soluciones energéticas en los esquemas de sustitución de leña.

- Línea de acción 20: Desarrollo del programa de aseguramiento y control de la calidad de combustibles y biocombustibles.
- Línea de acción 21: Establecer lineamientos de política de buenas prácticas de proyectos de economía circular en los sectores minero energético y transporte y promover su puesta en marcha.

El valor indicativo para desarrollar e implementar las acciones que le permitirán al país consolidar y avanzar en su proceso de transición energética asciende a 306.378 millones de pesos (de 2022). Esta inversión pública debería repercutir en una inversión de carácter público-privado superior a los 283 billones de pesos al cierre de 2030 (USD 75.632 millones). La política de transición energética se adelantará en el periodo comprendido entre 2022 y 2028. El avance en la implementación de las acciones se realiza por parte de las entidades responsables al DNP a través del aplicativo SisCONPES.

## Ley de transición energética

En julio de 2021 el Congreso de la República expidió la Ley 2099 de 2021. Dentro de esta norma se dictan las disposiciones para la transición energética y la dinamización del mercado energético con la finalidad de promover la utilización de fuentes no convencionales de energía (FNCER) y de incentivar el uso eficiente de los recursos energéticos.

Para efectos del presente documento, destacamos los seis principales componentes:

1. Se modifican y adicionan algunos aspectos a la Ley 1715 de 2014 (Ley de Fuentes No Convencionales de Energía), modificando y ampliando su objetivo. Como resultado de lo anterior, se declara asunto de utilidad pública e interés social la promoción, desarrollo, producción, almacenamiento y operación de las fuentes no convencionales de energía. En particular, aquellas de carácter renovable, así como el uso eficiente de la energía. Esta calificación de utilidad pública o interés social busca tener efectos oportunos para su priorización en lo relacionado con el ordenamiento del territorio, urbanismo, planificación ambiental y fomento económico. Adicionalmente, se crea el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGGE), con el fin de promover, ejecutar y financiar planes y proyectos de FNCER.
2. En el campo tributario, se otorgan diversos incentivos para aquellas personas que inviertan en la investigación, producción y desarrollo de ese tipo de proyectos. Por ejemplo:
  - Se da la posibilidad de deducir de la base para el impuesto de renta, el 50 % de la inversión realizada.
  - Se presenta la posibilidad de excluir del IVA la adquisición de bienes y servicios utilizados en dichos proyectos.
  - Se exenta del pago de derechos arancelarios de importación de maquinaria y equipos.
3. La Ley también regula lo relacionado con la exploración e investigación geotérmica y la define como FNCER (Fuente No Convencional de Energía Renovable). Establece que el Ministerio de Minas y Energía, o la entidad que este organismo designe, debe establecer lineamientos para el desarrollo de la geotermia en Colombia, y debe crear un registro geotérmico en el cual estarán inscritos todos aquellos proyectos destinados a explorar y explotar la geotermia para generar energía eléctrica. De este modo, el Ministerio podrá establecer condiciones especiales de registro para proyectos ya existentes de producción de energía eléctrica e hidrocarburos, con el fin de evitar la superposición de proyectos. De igual manera, contempla algunas sanciones para quienes incumplan con las disposiciones que reglamentan la exploración y explotación del recurso geotérmico.
4. Sobre la promoción y el desarrollo de tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono, el gobierno se compromete a diseñar una política pública con el fin de promover la investigación y desarrollo de tecnologías para la producción, almacenamiento, acondicionamiento y distribución de no energéticos del hidrogeno y otras tecnologías de bajas emisiones dentro de los seis meses siguientes a la entrada en vigor de la norma.
5. El Ministerio de Energía promoverá la reconversión de proyectos de minería e hidrocarburos que contribuyan a la transición energética. Así, la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y la Agencia Nacional de Minería (ANM) diseñarán mecanismos y acordarán las condiciones de contratos vigentes y futuros para incentivar la generación de energía a través de FNCER y la captura de carbono.
6. La ley busca fortalecer la política de desarrollo de servicios de energía eléctrica en las Zonas no Interconectadas (ZNI)<sup>8</sup>. A través de esta política pública se tiene como objetivo superar las condiciones deficientes y de mala calidad en las que actualmente se presta dicho servicio, garantizando la utilización de las distintas fuentes de energías renovables, incluidos los recursos locales, como una opción que facilite el acceso al servicio a las comunidades asentadas en dichas zonas.

En síntesis, mediante esta norma se busca avanzar en la adopción de nuevos instrumentos y mecanismos que se consideran necesarios para profundizar en el proceso de transición energética iniciado con la Ley 1715 de 2014. Así, busca dinamizar el mercado energético, reformar la matriz actual (soportada en los combustibles fósiles) e incorporar fuentes de generación provenientes de las energías renovables no convencionales, y su inclusión en el mercado eléctrico.

## ANEXO 5. PEN 2020 – 2050, REFERENCIA PARA ANALIZAR EL PEN 2022 - 2052

En nuestro análisis utilizamos al PEN 2022 – 2052. A continuación algunas cifras del anterior PEN (2020 – 2050) que pueden servir como referencia.

Tomando el promedio de las proyecciones del Plan Energético Nacional aprobado (PEN 2020 – 2050), el consumo total de energía en el país pasará de 1.309 peta-julios (peta-julios: mil billones de julios) en 2019 a 1.721 peta-julios en 2050. Este fenómeno se explica por dos efectos de largo plazo: 1) el crecimiento de la población y el crecimiento de la economía, y 2) la disminución del indicador de intensidad energética (menor cantidad de energía necesaria por cada unidad de PIB). Utilizando los datos del PEN y el Balance Energético Colombiano (BECO) 2021 de la UPME, obtenemos la siguiente trayectoria para la matriz de consumo energético final:

- **Electricidad:** Su participación aumentará del 18,3% de 2021 al 22,8% en 2050 (260 peta-julios a 391 peta-julios). Esto será una buena noticia en la medida en que las fuentes utilizadas para la generación sean limpias. **FN CER** en el total pasaran de 0,5% de la electricidad (0,1% del total demandado) al 44,0% de la electricidad (10,0% del total demandado). Las cifras de 2021 vienen del BECO, mientras que las cifras de 2050 resultan de cruzar la matriz de generación de 2050 (promedio de los escenarios) con el consumo final de electricidad.
- **Combustibles líquidos:** A pesar de que disminuye su participación en el consumo total de 45,9% en 2021 a 37,5% en 2050, en valores absolutos incrementa levemente, de 643 PJ a 645 PJ en 2050. El consumo diario en barriles de petróleo equivalente en 2050 rondaría los 296 kbped, teniendo en cuenta el elevado nivel de conversión de las refinерías colombianas. Teniendo en cuenta la producción actual del país cercana a 774 kbped, no parece un reto mayor, pero el equilibrio/desequilibrio fiscal del país cuenta con que parte de la producción se exporta, y mientras no se encuentre algo nuevo, esta producción deberá declinar durante los siguientes años.
- **Gas natural:** Su participación se incrementará del 16,8% en 2021 a al 24,8% en 2050 (de 236 PJ a 426 PJ). El consumo diario en millones de pies cúbicos ronda los 1.106, un nivel cercano a la producción promedio diaria de gas comercializado del país. Al gas le aplica lo mismo que al petróleo en cuanto a que mientras no se den hallazgos nuevos, su producción tenderá a declinar. Teniendo en cuenta el nivel actual, y el hecho de que actualmente no exportamos gas, cualquier disminución en la producción deberá ser compensada por importación.
- **Otros:** De 18,8% en 2021 a 15% en 2050 (de 264 PJ a 258 PJ). Incluye biomasa y residuos, carbón mineral y coque, e hidrógeno (está presente en el escenario de disrupción).

## ANEXO 6. COMPROMISOS DE LAS PETROLERAS GLOBALES \*

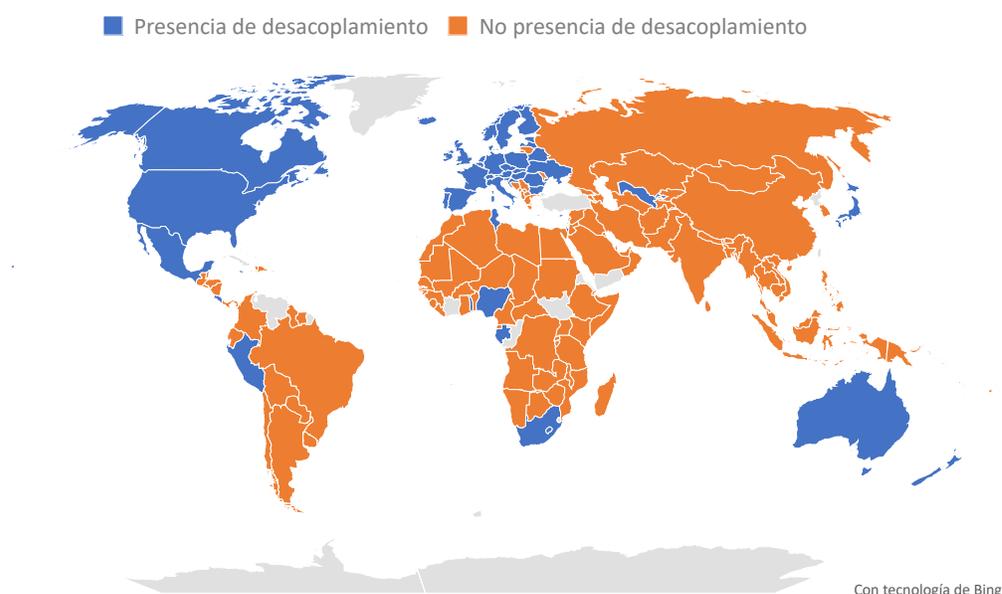
COMPROMISOS DE LAS PETROLERAS GLOBALES					
Empresa	Emisiones	Energía renovable	Tecnología	CCUS	Inversiones y compensaciones
Saudi Aramco	<p>Lograr cero emisiones netas de GEI de alcances 1 y 2** al 2050.</p> <p>Reducir en 15% la emisión de CO<sub>2</sub> de <i>upstream</i> para 2035 Vs 2018.</p> <p>Lograr emisiones de metano cercanas a cero para 2030.</p> <p>Cero quemas rutinarias de gas a 2030.</p>	Incorporar 12 GW de energía renovable para 2030, incluyendo energía alternativa (la cual no amenaza al medio ambiente).	<p>Revisión de las turbinas de gas, mejora en la eficiencia de las calderas y calentadores, e implementación de iniciativas de eficiencia energética.</p> <p>Énfasis en la cogeneración (generación eléctrica + producción de calor).</p>	<p>Estudios de factibilidad y levantamiento de información (identificación de activos clave y capacidad de almacenamiento).</p> <p>Desarrollo de tecnologías de baja emisión, junto con los mecanismos normativos asociados.</p>	<p>13.3 M de manglares sembrados a la fecha en el reino unido, la meta es llegar a los 300 M de manglares para 2035.</p> <p>En el resto del mundo el objetivo es llegar a los 350 M de manglares para 2035 (sin incluir Arabia Saudita).</p>
Exxon Mobil	Lograr cero emisiones netas de GEI para los alcances 1 y 2** en 2050.	Ser uno de los mayores compradores de energía eólica y solar en la industria de petróleo y gas.	Implementación de nueva tecnología para ampliar la medición y mitigación de las emisiones de gas metano.	Incentivos para el desarrollo tecnológico e implementación de la captura y el almacenamiento de CO <sub>2</sub> .	Invertir USD \$17 mil millones en iniciativas para reducir las emisiones de GEI, captura y almacenamiento de CO <sub>2</sub> , producción de biocombustibles e hidrógeno.
	<p>Planes a 2030 frente a 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción del 20-30% en la emisión de GEI.</li> <li>- Reducción del 40-50% en la intensidad de GEI en <i>upstream</i>.</li> <li>- Reducción del 70-80% en la emisión de metano.</li> </ul>		<p>Aumento en la capacidad de cogeneración.</p> <p>Mejora en la eficiencia energética.</p>		
Chevron	<p>Lograr cero emisiones netas de GEI de alcances 1 y 2** para 2050.</p> <p>Reducción de 35% en la emisión de GEI para 2028 Vs 2016.</p> <p>Reducir en un 50% las emisiones de metano Vs 2016.</p> <p>Eliminar la quema rutinaria de gas para 2030.</p>	<p>Aumentar la capacidad de producción de combustibles renovables.</p> <p>Aumentar el uso de energías renovables.</p>	Ampliar la capacidad de detección de metano.	Inversiones en el desarrollo de tecnologías de captura y almacenamiento de CO <sub>2</sub> , y la producción de hidrógeno.	<p>\$8 mil millones en inversiones en combustibles renovables, producción de hidrógeno, captura de carbono y compensaciones.</p> <p>USD 2 mil millones en inversiones en proyectos de reducción de carbono hasta 2028.</p>
Shell	<p>Lograr cero emisiones netas de GEI para los alcances 1 y 2** a 2050.</p> <p>Reducir 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub> para 2030 Vs 2016.</p> <p>Eliminar la quema rutinaria de gas a 2025.</p>	Aumentar el uso de energías renovables.	Aumentar la eficiencia energética mediante la utilización de nuevas tecnologías.	<p>Desarrollar e implementar una tecnología para la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.</p> <p>Lograr ampliar la capacidad de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en 25 millones de toneladas para 2035.</p>	<p>Compensar alrededor de 120 M de toneladas de emisiones de GEI correspondientes al alcance 3.</p> <p>Otras acciones de compensación por la emisión neta de GEI.</p>

Fuente: Sitio web de cada compañía a 1t23. Construcción: Corficolombiana. Emisiones \*\* Emisiones de alcance 1: Emisiones directas de GEI por fuentes que son propiedad o están controladas por la empresa. Emisiones de alcance 2: Emisiones indirectas de GEI relacionadas con la generación de energía comprada por la empresa. Emisiones de alcance 3: Emisiones en la cadena de valor de la empresa, principalmente las asociadas al uso de los productos vendidos. \* Durante el último año y medio, estas y otras compañías vienen relajando o haciendo más realistas sus metas de CCUS.

## ANEXO 7. DESACOPLAMIENTO ENTRE EL CONSUMO DE ENERGÍA Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO

Toda vez que la actividad económica implica la utilización de energía, y en la actualidad la generación o producción de energía genera GEI, se observa una relación positiva entre las ambas variables, así como entre el tamaño de las economías y el consumo total de energía. El vínculo entre el mayor uso de energía y el crecimiento económico da espacio para que algunos argumenten -erróneamente- que solo una política de decrecimiento de la economía puede revertir los efectos negativos sobre el cambio climático. Sin embargo, el efecto climático no se da por el uso de energía per se, sino por el tipo de energía que se produce y se consume. Por otro lado, la posibilidad de dejar de crecer o inclusive decrecer, que podría aplicarse a economías de países desarrollados cuyos habitantes tienen buenos estándares de vida, no aplica en un país en vías de crecimiento, con un ingreso medio y con un producto interno bruto per cápita bajo.

**Gráfico 43. Desacoplamiento entre el crecimiento del PIB per cápita y la variación anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> por habitante\***



Fuente: Global Carbon Project 2023, Banco Mundial. Construcción: Corficolombiana. \* Variación porcentual entre 2010 y 2019.

Adicionalmente, Koop (2010) encontró que desde los años noventa el progreso técnico y la menor intensidad de carbono en el uso de energía ha resultado en que algunos países registren paralelamente crecimiento económico y reducción en sus emisiones. A este fenómeno se le denomina desacoplamiento. De una muestra de 181 países en la última década (2019 vs 2010), 52 economías han registrado desacoplamiento: el 91% de las desarrolladas, el 17% de las emergentes y el 7% de los países en vías de desarrollo han logrado incrementar el ingreso per cápita al tiempo que reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> por habitante. Ahora bien, en la mayoría de los países de la región, incluido Colombia<sup>29</sup>, no se ha logrado entrar en la zona de desacoplamiento. En Latinoamérica, únicamente México, Perú y Costa Rica registran dicho fenómeno (Gráfico 1).

Se puede pensar que parte de las emisiones asociadas con el consumo de los países que han logrado el desacoplamiento se envían al extranjero y dejan de registrarse en la contabilidad de sus emisiones. Sin embargo, los datos muestran que, en la mayoría de los casos, tanto las emisiones territoriales como las emisiones de consumo (que incluyen cualquier emisión exportada a otras economías) registraron una senda decreciente durante la última década.

<sup>29</sup> Sin embargo, en la reciente revisión a la política energética de Colombia realizada por la IEA (International Energy Agency, 2023), del año 2000 al 2021, las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía incrementaron 42% mientras que el PIB se dobló (aproximadamente), evidenciando un “relativo desacoplamiento” entre las emisiones y el crecimiento.

## ANEXO 8. BIBLIOGRAFÍA & FUENTES CITADAS

- A Decade of Israel's Natural Gas Revolution. SPECIAL REPORT: THE NATURAL GAS ECONOMY 2023. The Israeli Natural Gas Trade Association. <https://energycouncil.com/articles/special-report-israels-natural-gas-revolution/>
- ACOLGEN (2023). El papel del sector eléctrico en la transición energética de Colombia. Presentación de Mauricio Cárdenas – Columbia University. [https://acolgen.org.co/wp-content/uploads/2023/06/1\\_MAUICIO-CARDENAS.pdf](https://acolgen.org.co/wp-content/uploads/2023/06/1_MAUICIO-CARDENAS.pdf)
- ACP (2023). Mercado de Combustibles Líquidos en Colombia en un contexto de Transición Energética. <https://acp.com.co/portal/download/mercado-de-combustibles-liquidos-en-colombia-en-un-contexto-de-transicion-energetica/>
- Actualización Plan Energético Nacional (PEN) 2022 – 2052, Unidad de Planeación Minero Energética. [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2020\\_2050/Actualizacion\\_PEN\\_2022-2052\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Actualizacion_PEN_2022-2052_VF.pdf)
- Agencia Nacional de Minería (2021). Mapa Metalogénico de Colombia 2020. <https://mineriaencolombia.anm.gov.co/sites/default/files/docupromocion/mapa-metalogenico-colombia-2020.pdf>
- ANIF (2023). Una transición energética confiable para Colombia: mitos y realidades. <https://www.anif.com.co/wp-content/uploads/2023/11/5-anif.pdf>
- Ari, A., Arregui, N., Black, S., Celasun, O., Iakova, D., Mineshima, A., Mylonas, V., Parry, I., Teodoru, I., & Zhunussova, K. (2022). (FMI). <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2022/07/28/Surging-Energy-Prices-in-Europe-in-the-Aftermath-of-the-War-How-to-Support-the-Vulnerable-521457>
- Banco Mundial (2022). PIB Per Cápita, PPA (Precios Constantes de 2011). <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.PP.KD>
- BID (2019). La matriz energética de Colombia se renueva. Recuperado de la página web [https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/#:~:text=Colombia%20tiene%20una%20de%20las,Mega%20Dwatts%20\(MW\)](https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/#:~:text=Colombia%20tiene%20una%20de%20las,Mega%20Dwatts%20(MW))
- BID, Gobierno de Colombia (2021). Transición energética: un legado para el presente y el future de Colombia. [https://www.minenergia.gov.co/static/legado\\_transicion\\_energetica/src/document/TRANSICION%20ENERGETICA%20COLOMBIA%20BID-MINENERGIA-2403.pdf](https://www.minenergia.gov.co/static/legado_transicion_energetica/src/document/TRANSICION%20ENERGETICA%20COLOMBIA%20BID-MINENERGIA-2403.pdf)
- Bloomberg NEF (2023). Global Low-Carbon Energy Technology Investment Surges Past \$1 Trillion for the First Time. <https://about.bnef.com/blog/global-low-carbon-energy-technology-investment-surges-past-1-trillion-for-the-first-time>
- BP (2021). Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- BP. (2022). Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
- Cárdenas, M. (2023). El papel del sector eléctrico en la transición energética de Colombia (15 Congreso Annual de Energía – ACOLGEN). [https://acolgen.org.co/wp-content/uploads/2023/06/1\\_MAUICIO-CARDENAS.pdf](https://acolgen.org.co/wp-content/uploads/2023/06/1_MAUICIO-CARDENAS.pdf)
- Çelikbilek, Y., Tüysüz, F. (2016). An integrated grey based
- Castaneda, C. (1999). A History of the Natural Gas Industry. <https://scholars.csus.edu/esploro/outputs/book/Invisible-fuel--manufactured-and-natural/99257880244001671>
- Çelikbilek, Y., Tüysüz, F. (2016). An integrated grey based multi-criteria decision making approach for the evaluation of renewable energy sources. Energy, Volumen 115, Parte 1. Páginas 1246-1258. <https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v115y2016ip1246-1258.html>
- Center on Global Energy Policy at Columbia SIPA (2023). Financing the Energy Transition in Latin America and the Caribbean: An Incomplete Puzzle. <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/financing-the-energy-transition-in-latin-america-and-the-caribbean-an-incomplete-puzzle/>
- Chen, W., Zhang, E., Wang, T., Yu, K. (2019). Bismuth Single Atoms Resulting from Transformation of Metal–Organic Frameworks and Their Use as Electrocatalysts for CO2 Reduction. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.9b08259>
- Columbia SIPA (2022). CLIMATE MITIGATION IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN: A PRIMER ON TRANSITION COST, RISKS, AND FINANCING. <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/climate-mitigation-latin-america-and-caribbean-primer-transition-costs-risks-and-financing/>
- Congreso de la República de Colombia (2021). Ley 2169 de 2021 (Ley de Acción Climática). [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_2169\\_2021.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_2169_2021.html)
- CREE, Grupo Energía Bogotá y TGI (2022). Hoja de Ruta del Gas Natural en Colombia. <https://www.grupoenergiabogota.com/medios/comunicados-2022/hoja-de-ruta-para-el-gas-natural-flexibilizar-dinamizar-y-garantizar-el-mercado-energetico-durante-la-transicion>
- Diagnóstico Base para la Transición Energética Justa, Ministerio de Minas y Energía 2023. [https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2\\_Diagn%C3%B3stico\\_base\\_para\\_la\\_TEJ.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2_Diagn%C3%B3stico_base_para_la_TEJ.pdf)
- DNP (2022). CONPES 4075. Política de Transición Energética. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4075.pdf>
- DNV (2023). Energy Transition Outlook 2023, A global and regional forecast to 2050. <https://www.dnv.com/energy-transition-outlook/download.html>
- Ecopetrol (2023). Energía que transforma. Estrategia 2040. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/estrategia2040/>
- Ecopolitic (2023). War and state aid can speed up the green transition by 10 years. <https://ecopolitic.com.ua/en/news/vijna-ta-derzhdpomoga-mozhut-priskoriti-zelenij-perehid-na-10-rokiv-2/>
- EIA (2023). Colombia 2023, Energy Policy Review. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2fa812fe-e660-42f3-99bc-bd75be3ca0b5/Colombia2023-EnergyPolicyReview.pdf>
- Energy Fact Sheet: Why does Russian oil and gas matter? IEA, Paris (2022). <https://www.iea.org/articles/energy-fact-sheet-why-does-russian-oil-and-gas-matter>
- Energy Institute in partnership with KPMG and Kearney (2023). Statistical Review of World Energy. <https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads>

- Energy institute (2024). Energy Institute Statistical Review of World Energy. [https://www.energyinst.org/\\_data/assets/excel\\_doc/0020/1540550/EI-Stats-Review-All-Data.xlsx](https://www.energyinst.org/_data/assets/excel_doc/0020/1540550/EI-Stats-Review-All-Data.xlsx)
- Espinasa, R., Medina, R., & Tarre, G. (2016). *La ley y los hidrocarburos: Comparación de marcos legales de América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15666/la-ley-y-los-hidrocarburos-comparacion-de-marcos-legales-de-america-latina-y-el>
- European Commission (2022). JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT. CO2 emissions of all world countries. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130363>
- European Commission (2022). Joint Communication to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions EU: external energy engagement in a changing world (Brussels, 18, 5, 2022). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=JOIN%3A2022%3A23%3AFIN>
- Fedesarrollo (2022). Transición energética en Colombia: Política, costos de la carbono-neutralidad acelerada y el papel del gas natural. <https://www.repositorio.fedesarrollo.org.co/handle/11445/4318>
- Fondo Monetario Internacional (2023). Global Financial Stability Report. Chapter 3: Financial Sector Policies to Unlock Private Climate Finance in Emerging Market and Developint Economies. <https://www.imf.org/en/Publications/GFSR/Issues/2023/10/10/global-financial-stability-report-october-2023>
- Fundación Naturgy (2023). El gas natural en el nuevo mundo energético - Fundación Naturgy. [https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/woocomerce\\_uploads/2021/11/el-gas-natural-en-el-nuevo-mundo-energetico.pdf](https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/woocomerce_uploads/2021/11/el-gas-natural-en-el-nuevo-mundo-energetico.pdf)
- Global Carbon Project (2021). Global Carbon Atlas. <https://www.globalcarbonproject.org/>
- Gobierno de España, M.p (s.f). El Gas Natural/Gas Natural y Medio Ambiente. Obtenido de El Gas Natural y Medio Ambiente. <https://energia.gob.es/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx>
- Google. (2024). *Google Trends*. <https://trends.google.com/>
- History of Natural Gas | Lebanon, TN. (n.d.). <https://www.lebanontn.org/183/History-of-Natural-Gas>
- IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEÍA (2022). INFORME DEL INVENTARIO NACIONAL DE GASES EFECTO INVERNADERO 1990 – 2018 Y CARBONO NEGRO 2010 – 2018 DE COLOMBIA. TERCER INFORME BIENAL DE ACTUALIZACIÓN DE CAMBIO CLIMATICO. [https://unfccc.int/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=5vdnqSMsJlMuw4m4fT3jqPoE-nlYXyjJB7gPqwFB\\_zY](https://unfccc.int/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=5vdnqSMsJlMuw4m4fT3jqPoE-nlYXyjJB7gPqwFB_zY)
- Informe del Sector Gas Natural en Colombia 2023, Promigas 2023. [https://promigas-isgn.s3.us-east-1.amazonaws.com/industry/file4326995d-a8bo-4109-af79-e30213e15abe\\_Informe-del-Sector-Gas-Natural-en-Colombia-2023-Cifras-2022.pdf](https://promigas-isgn.s3.us-east-1.amazonaws.com/industry/file4326995d-a8bo-4109-af79-e30213e15abe_Informe-del-Sector-Gas-Natural-en-Colombia-2023-Cifras-2022.pdf)
- International Energy Agency (2023). Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, 2023 update. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap\\_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf)
- International Energy Agency (2022). Energy prices: Overview. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-prices>
- International Energy Agency (2022). Exploring the impacts of the COVID-19 pandemic on global energy markets, energy resilience, and climate change. <https://www.iea.org/topics/covid-19>
- International Energy Agency (2023). Colombia 2023 Energy Policy Review. <https://www.iea.org/reports/colombia-2023>
- International Energy Agency (2023). Electricity Grids and Secure Energy Transitions. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/70f2de45-6d84-4e07-bfdo-93833e205c81/ElectricityGridsandSecureEnergyTransitions.pdf>
- International Energy Agency (2023). Net Zero Roadmap, A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/13dab083-08c3-4df6-a887-42a3e8e533bc/NetZeroRoadmap\\_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/13dab083-08c3-4df6-a887-42a3e8e533bc/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf)
- IEA, ECB and EIB (2023). High Level International Conference. Ensuring an Orderly Energy Transition: Europe’s competitiveness and financial stability in a period of global energy transformation. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/18b032b4-6c1d-4511-9490-52869734a337/IEA-ECB-EIBInternationalConference2023\\_Backgrounddocument2.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/18b032b4-6c1d-4511-9490-52869734a337/IEA-ECB-EIBInternationalConference2023_Backgrounddocument2.pdf)
- International Energy Agency (2023) World Energy Balances 2023. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances-highlights>
- International Energy Agency (2023) World Energy Outlook 2023. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed1e4c42-5726-4269-b801-97b3d32e117c/WorldEnergyOutlook2023.pdf>
- Informe de sostenibilidad corporativa Chevron. Getting result the right way. (2021). <https://www.chevron.com/-/media/shared-media/documents/chevron-sustainability-report-2021.pdf>
- Informe de sostenibilidad Shell. Potenciando el progreso. (2021). <https://www.shell.com.co/informacion-sobre-nuestra-empresa/powering-progress.html>
- International Energy Agency (2021). Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/an-updated-roadmap-to-net-zero-emissions-by-2050>
- International Monetary Fund (2023). FISCAL MONITOR. Climate Crossroads: Fiscal Policies in a Warming World. <https://www.imf.org/en/Publications/FM/Issues/2023/10/10/fiscal-monitor-october-2023>
- International Monetary Fund (2023). Review of the Climate Macroeconomic Assessment Program Pilots. <https://www.imf.org/en/Publications/Policy-Papers/Issues/2023/06/15/Review-of-the-Climate-Macroeconomic-Assessment-Program-Pilots-534845>
- IPCC, I. P. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- IPCC (2023). Sixth Assessment Report. Synthesis Report. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- IRENA (2023). Investment Needs of USD 35 trillion by 2030 for Successful Energy Transition. <https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Mar/Investment-Needs-of-USD-35-trillion-by-2030-for-Successful-Energy-Transition>
- IRENA (2023). Renewable Energy Statistics 2023. [https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/IRENA\\_Renewable\\_energy\\_statistics\\_2023.pdf?rev=7b2f44c294b84cad9a27fc24949d2134](https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2023.pdf?rev=7b2f44c294b84cad9a27fc24949d2134)

- Kahia, M., Ben Aïssa, M., & Charfeddine, L. (2016). Impact of renewable and non-renewable energy consumption on economic growth: New evidence from the MENA Net Oil Exporting Countries (NOECs). *Energy*, Volumen 116, Parte 1. Páginas 102-115. <https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v116y2016ip1p102-115.html>
- Koop, G (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth: A structural approach. <https://ideas.repec.org/a/taf/japsta/v25y1998i4p489-515.html>
- Ley 1753 de 2015
- Li, T., R.M. Horton, D.A. Bader, F. Liu, Q. Sun, & P.L. Kinney, (2018). Long-term projections of temperature-related mortality risks for ischemic stroke, hemorrhagic stroke, and acute ischemic heart disease under changing climate in Beijing, China. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412017306049#:~:text=5%20scenarios%20were%20analyzed%2C%20temperature,2080s%20compared%20with%20the%201980s.>
- Massachusetts Institute of Technology (2010). Explained: Radiative forcing. (2010, March 10). MIT News. <https://news.mit.edu/2010/explained-radforce-0309>
- McKinsey & Company (2022). Global Energy Perspective 2022. <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2022>
- McKinsey & Company (2022). The net-zero transition, what it would cost, what it could bring. <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/the-net-zero-transition-what-it-would-cost-what-it-could-bring>
- McKinsey (2022). Safeguarding green steel in Europe. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/safeguarding-green-steel-in-europe-facing-the-natural-gas-challenge>
- McWilliams, B., G. Sgaravatti, G. Zachmann (2021) 'European natural gas imports', Bruegel Datasets, first published 29 October, available at <https://www.bruegel.org/publications/datasets/european-natural-gas-imports/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC). <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/actualizacion-de-la-contribucion-determinada-a-nivel-nacional-ndc/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). ¿Qué es la estrategia Colombia Carbono-Neutral? <https://carbononeutral.minambiente.gov.co/programa-nacional-de-carbono-neutralidad/#:~:text=Optimizar%20el%20uso%20de%20los,corto%2C%20mediano%20y%20largo%20plazo.>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). Estrategia Climática de largo plazo de Colombia E2050 para cumplir con el Acuerdo de París. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/estrategia-2050/#:~:text=La%20Estrategia%202050%20es%20un,internacional%20del%20Pa%C3%ADs%20para%20contribuir>
- Ministerio de Minas y Energía (2021). Hoja de Ruta para el Hidrógeno en Colombia. [https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia\\_2810.pdf](https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia_2810.pdf)
- Ministerio de Minas y Energía (2022). Diálogo social para definir la hoja de ruta de la transición energética justa. <https://www.minenergia.gov.co/documents/9497/HojaRutaTransicionEnergeticaJustaColombia.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía (2023). Diagnóstico Base para la Transición Energética Justa. [https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2\\_Diagn%C3%B3stico\\_base\\_para\\_la\\_TEJ.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2_Diagn%C3%B3stico_base_para_la_TEJ.pdf)
- Ministerio de Minas y Energía (2023). Diagnóstico Base para la Transición Energética Justa. [https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2\\_Diagn%C3%B3stico\\_base\\_para\\_la\\_TEJ.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2_Diagn%C3%B3stico_base_para_la_TEJ.pdf)
- Ministerio de Minas y Energía (2023). Diagnóstico Base para la Transición Energética Justa. <https://www.minenergia.gov.co/es/servicio-al-ciudadano/foros/documentos-de-la-hoja-de-ruta-de-la-transici%C3%B3n-energ%C3%A1tica-justa/>
- Ministerio de Minas y Energía (2023). Escenarios Nacionales, Transición Energética Justa, Rutas que nos preparan para el futuro. <https://www.minenergia.gov.co/es/servicio-al-ciudadano/foros/documentos-de-la-hoja-de-ruta-de-la-transici%C3%B3n-energ%C3%A1tica-justa/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España. Gas natural y medio ambiente <https://www.miteco.gob.es/>
- NASA. How Do We Know Climate Change Is Real? (2022). <https://climate.nasa.gov/evidence/>
- Naturgas (2023). EL GAS NATURAL como vehículo para elevar el bienestar y reducir la privación energética de los hogares en Colombia. <https://naturgas.com.co/wp-content/uploads/2023/05/Gas-natural-vehiculo-para-reducir-pobreza.pdf>
- Notre Dame Global Adaptation Initiative: <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/rankings/>
- OECD (2023). Financing Climate Futures: Rethinking Infrastructure. <https://www.oecd.org/environment/cc/climate-futures/>
- Oil and Gas Transition (OGT, 2022) (<https://oilandgastransitions.org/about/initiative/>)
- OPEC (2023). 2023 World Oil Outlook 2045. [https://www.opec.org/opec\\_web/en/publications/340.htm](https://www.opec.org/opec_web/en/publications/340.htm)
- Organización Internacional del Trabajo (2023). Terminos de Referencia, La transición justa en el triángulo de litio en Argentina, Chile y Bolivia. <https://www.ilo.org/ilc/ILCSessions/111/committees/just-transition/lang-es/index.htm>
- Our World in Data. (2024) *OurWorldInData.org*. <https://ourworldindata.org/>
- Piers Forster, V.R (s.f). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf>
- Promigas (2023). InfoGAS, INFORME DEL SECTOR GAS NATURAL COLOMBIA 2023. [https://promigas-isgn.s3.us-east-1.amazonaws.com/industry/file4326995d-a8bo-4109-af79-e30213e15abe\\_Informe-del-Sector-Gas-Natural-en-Colombia-2023-Cifras-2022.pdf](https://promigas-isgn.s3.us-east-1.amazonaws.com/industry/file4326995d-a8bo-4109-af79-e30213e15abe_Informe-del-Sector-Gas-Natural-en-Colombia-2023-Cifras-2022.pdf)
- República de Colombia (2020). NDC de Colombia, actualización 2020. <https://transportgeography.org/>  
[https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/05/NDC\\_Libro\\_final\\_digital-1.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/05/NDC_Libro_final_digital-1.pdf)
- Rodrigue, J. (2020). The Geography of Transport Systems. <https://transportgeography.org/>
- Saudi Aramco (2022). Informe de sostenibilidad de sostenibilidad. Climate change and the energy transition. (2021). <https://www.aramco.com/-/media/downloads/sustainability-report/saudi-aramco-sustainability-report-2021-en.pdf>
- SER COLOMBIA (2023). OPORTUNIDADES Y DESAFIOS PARA SU EJECUCIÓN. <https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2023/05/REVISTA-2.pdf>
- SoCalGas. (s.f). Fuentes de Emisiones de Metano. Obtenido de Fuentes de Emisiones de Metano. <https://www.socalgas.com/es/stay-safe/methane-emissions/sources-of-methane-emissions>

- Statistisches Bundesamt (2024). Gross electricity production in Germany from 2019 to 2023. <https://www.destatis.de/EN/Themes/Economic-Sectors-Enterprises/Energy/Production/Tables/gross-electricity-production.html>
- Taking the Earth's Temperature - American Chemical Society. (n.d.). <https://www.acs.org/climate-science.html>
- The Economist. (2023). War and subsidies have turbocharged the green transition. [https://www.economist.com/finance-and-economics/2023/02/13/war-and-subsidies-have-turbocharged-the-green-transition?utm\\_medium=cpc.adword.pd&utm\\_source=google&ppccampaignID=19495686130&ppcadID=&utm\\_campaign=a.22brand\\_pmax&utm\\_content=conversion.direct-response.anonymous&qclid=CjoKCOjw4,bipBhCyARisAFsieCz22qKYy8VovMLZXTb\\_WmKCP9cy3qwqyPJQhzWDr13xKS9sHlwY-okaAjz-EALw\\_wcB&qclsrc=aw.ds](https://www.economist.com/finance-and-economics/2023/02/13/war-and-subsidies-have-turbocharged-the-green-transition?utm_medium=cpc.adword.pd&utm_source=google&ppccampaignID=19495686130&ppcadID=&utm_campaign=a.22brand_pmax&utm_content=conversion.direct-response.anonymous&qclid=CjoKCOjw4,bipBhCyARisAFsieCz22qKYy8VovMLZXTb_WmKCP9cy3qwqyPJQhzWDr13xKS9sHlwY-okaAjz-EALw_wcB&qclsrc=aw.ds)
- The Israeli Natural Gas Trade Association (2023). A Decade of Israel's Natural Gas Revolution. SPECIAL REPORT: THE NATURAL GAS ECONOMY 2023. <https://energycouncil.com/articles/special-report-israels-natural-gas-revolution/>
- Trademap (2024). Natural Gas Exports. <https://www.trademap.org/>
- UMPE (2021). Plan Energético Nacional 2050. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN.aspx>
- United Nations Development Program (2023). The challenges of climate mitigation in Latin America and de Caribbean: Some proposals for action. Mauricio Cárdenas and Sebastian Orozco. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-01/PNUDLAC-working-paper-40-climate-EN.pdf>
- Universidad de los Andes y WTW (2023). Understanding the impact of a low carbon transition on Colombia. <https://www.wtwco.com/en-gb/insights/2023/08/understanding-the-impact-of-a-low-carbon-transition-on-colombia>
- UPME (2016). Seguridad energética para Colombia. [https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Memorias/Memorias\\_dia\\_UPME\\_2016/Futuro\\_Energia\\_Colombia\\_2050.pdf](https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Memorias/Memorias_dia_UPME_2016/Futuro_Energia_Colombia_2050.pdf)
- UPME (2019). Plan Energético Nacional 2020-2050. [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN\\_documento\\_para\\_consulta.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf)
- UPME (2022). Proyección de Demanda de Energía Eléctrica, Gas Natural y Combustibles Líquidos 2022-2036. [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Presentacion\\_Proyeccion\\_demanda\\_energeticos\\_2022.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Presentacion_Proyeccion_demanda_energeticos_2022.pdf)
- UPME (2023). Actualización Plan Energético Nacional (PEN) 2022 – 2052. [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2020\\_2050/Actualizacion\\_PEN\\_2022-2052\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Actualizacion_PEN_2022-2052_VF.pdf)
- UPME (2023). [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2020\\_2050/Actualizacion\\_PEN\\_2022-2052\\_VF.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Actualizacion_PEN_2022-2052_VF.pdf)
- World Bank (2021). Not so-magical realism: A climate stress test of the Colombian banking. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/957831635911537578/pdf/Not-So-Magical-Realism-A-Climate-Stress-Test-of-the-Colombian-Banking-System.pdf>
- World Economic Forum (2023). Fostering Effective Energy Transition 2023 Edition. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Fostering\\_Effective\\_Energy\\_Transition\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2023.pdf)
- World Economic Forum (2023). The Global Risks Report 2023 18th Edition Insight report. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2023.pdf)
- World Economic Forum in collaboration with Accenture (2023). Fostering Effective Energy Transition 2023 Edition, Insight report 2023. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Fostering\\_Effective\\_Energy\\_Transition\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2023.pdf)
- World Energy Council (2023). REDESIGNING ENERGY FOR PEOPLE AND PLANET. WORLD ENERGY PULSE 2023. ROUND 1. [https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WE\\_Pulse\\_April\\_2023\\_-\\_Global\\_Results.pdf?v=1684161691](https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WE_Pulse_April_2023_-_Global_Results.pdf?v=1684161691)
- World Energy Trade (2022). ExxonMobil anuncia su ambición de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para 2050. (2022). <https://www.worldenergytrade.com/oil-gas/general/exxon-fija-un-objetivo-de-cero-emisiones-para-2050>
- WTF, Universidad de los Andes (2023). Understanding the impact of a low carbon transition on Colombia. <https://www.wtwco.com/en-gb/insights/2023/08/understanding-the-impact-of-a-low-carbon-transition-on-colombia>

## Equipo de investigaciones económicas

### César Pabón Camacho

Director Ejecutivo de Investigaciones Económicas

(+57-601) 3538787 Ext. 70009

[cesar.pabon@corfi.com](mailto:cesar.pabon@corfi.com)

## Macroeconomía y Mercados

---

### Julio César Romero

Economista Jefe

(+57-601) 3538787 Ext. 70231

[julio.romero@corficolombiana.com](mailto:julio.romero@corficolombiana.com)

### Gabriela Bautista

Analista contexto externo

(+57-601) 3538787 Ext. 70496

[gabriela.bautista@corfi.com](mailto:gabriela.bautista@corfi.com)

### Diego Alejandro Gómez

Analista de Economía local

(+57-601) 3538787 Ext. 69628

[diego.gomez@corfi.com](mailto:diego.gomez@corfi.com)

### Felipe Espitia

Analista Senior Renta Fija

(+57-601) 3538787 Ext. 70495

[felipe.espitia@corfi.com](mailto:felipe.espitia@corfi.com)

### Alejandra Gacha

Analista economías Sudamérica

(+57-601) 3538787 Ext. 69964

[alejandra.gacha@corfi.com](mailto:alejandra.gacha@corfi.com)

### Mateo Pardo

Analista economías Centroamérica

(+57-601) 3538787 Ext. 69628

[mateo.pardo@corfi.com](mailto:mateo.pardo@corfi.com)

### Manuel Bernal

Estudiante en práctica

(+57-601) 3538787 Ext. 70495

[manuel.bernal@corfi.com](mailto:manuel.bernal@corfi.com)

## Análisis Financiero

---

### Andrés Duarte

Director Renta Variable

(+57-601) 3538787 Ext. 70007

[andres.duarte@corfi.com](mailto:andres.duarte@corfi.com)

### Jaime Cárdenas

Analista de Finanzas Corporativas

(+57-601) 3538787 Ext. 69798

[jaime.cardenas@corfi.com](mailto:jaime.cardenas@corfi.com)

### Daniel Monroy

Analista de Finanzas Corporativas

(+57-601) 3538787 Ext. 69798

[danielf.monroy@corfi.com](mailto:danielf.monroy@corfi.com)

## Análisis Sectorial y Sostenibilidad

---

### Andrés Gallego

Analista de Sectores y Sostenibilidad

(+57-601) 3538787 Ext. 66973

[andres.gallego@corfi.com](mailto:andres.gallego@corfi.com)

### Nicolas Cruz Walteros

Analista de Sectores y Sostenibilidad

(+57-601) 3538787 Ext. 69973

[nicolas.cruz@corfi.com](mailto:nicolas.cruz@corfi.com)

### Dino Francisco Córdoba

Analista de Sectores y Sostenibilidad

(+57-601) 3538787 Ext. 70495

[dino.cordoba@corfi.com](mailto:dino.cordoba@corfi.com)

## **ADVERTENCIA**

El presente informe fue elaborado por el área de Investigaciones Económicas de Corficolombiana S.A. ("Corficolombiana") y el área de Análisis y Estrategia de Casa de Bolsa S.A. Comisionista de Bolsa ("Casa de Bolsa"). Este informe y todo el material que incluye, no fue preparado para una presentación o publicación a terceros, ni para cumplir requerimiento legal alguno, incluyendo las disposiciones del mercado de valores.

La información contenida en este informe está dirigida únicamente al destinatario de la misma y es para su uso exclusivo. Si el lector de este mensaje no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución que se haga de éste se encuentra totalmente prohibida. Si usted ha recibido esta comunicación por error, por favor notifique inmediatamente al remitente.

La información contenida en el presente documento es informativa e ilustrativa. Corficolombiana y Casa de Bolsa no son proveedores oficiales de precios y no extienden ninguna garantía explícita o implícita con respecto a la exactitud, calidad, confiabilidad, veracidad, integridad de la información presentada, de modo que Corficolombiana y Casa de Bolsa no asumen responsabilidad alguna por los eventuales errores contenidos en ella. Las estimaciones y cálculos son meramente indicativos y están basados en asunciones, o en condiciones del mercado, que pueden variar sin aviso previo.

LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL PRESENTE DOCUMENTO FUE PREPARADA SIN CONSIDERAR LOS OBJETIVOS DE LOS INVERSIONISTAS, SU SITUACIÓN FINANCIERA O NECESIDADES INDIVIDUALES, POR CONSIGUIENTE, NINGUNA PARTE DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL PRESENTE DOCUMENTO PUEDE SER CONSIDERADA COMO UNA ASESORÍA, RECOMENDACIÓN PROFESIONAL PARA REALIZAR INVERSIONES EN LOS TÉRMINOS DEL ARTÍCULO 2.40.1.1.2 DEL DECRETO 2555 DE 2010 O LAS NORMAS QUE LO MODIFIQUEN, SUSTITUYAN O COMPLEMENTEN, U OPINIÓN ACERCA DE INVERSIONES, LA COMPRA O VENTA DE INSTRUMENTOS FINANCIEROS O LA CONFIRMACIÓN PARA CUALQUIER TRANSACCIÓN. LA REFERENCIA A UN DETERMINADO VALOR NO CONSTITUYE CERTIFICACIÓN SOBRE SU BONDAD O SOLVENCIA DEL EMISOR, NI GARANTÍA DE SU RENTABILIDAD. POR LO ANTERIOR, LA DECISIÓN DE INVERTIR EN LOS ACTIVOS O ESTRATEGIAS AQUÍ SEÑALADOS CONSTITUIRÁ UNA DECISIÓN INDEPENDIENTE DE LOS POTENCIALES INVERSIONISTAS, BASADA EN SUS PROPIOS ANÁLISIS, INVESTIGACIONES, EXÁMENES, INSPECCIONES, ESTUDIOS Y EVALUACIONES.

El presente informe no representa una oferta ni solicitud de compra o venta de ningún valor y/o instrumento financiero y tampoco es un compromiso por parte de Corficolombiana y/o Casa de Bolsa de entrar en cualquier tipo de transacción.

Corficolombiana y Casa de Bolsa no asumen responsabilidad alguna frente a terceros por los perjuicios originados en la difusión o el uso de la información contenida en el presente documento.

### **Certificación del analista**

EL(LOS) ANALISTA(S) QUE PARTICIPÓ(ARON) EN LA ELABORACIÓN DE ESTE INFORME CERTIFICA(N) QUE LAS OPINIONES EXPRESADAS REFLEJAN SU OPINIÓN PERSONAL Y SE HACEN CON BASE EN UN ANÁLISIS TÉCNICO Y FUNDAMENTAL DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA, Y SE ENCUENTRA(N) LIBRE DE INFLUENCIAS EXTERNAS. EL(LOS) ANALISTA(S) TAMBIÉN CERTIFICA(N) QUE NINGUNA PARTE DE SU COMPENSACIÓN ES, HA SIDO O SERÁ DIRECTA O INDIRECTAMENTE RELACIONADA CON UNA RECOMENDACIÓN U OPINIÓN ESPECÍFICA PRESENTADA EN ESTE INFORME.

### **Información de interés**

Algún o algunos miembros del equipo que participó en la realización de este informe posee(n) inversiones en alguno de los emisores sobre los que está efectuando el análisis presentado en este informe, en consecuencia, el posible conflicto de interés que podría presentarse se administrará conforme las disposiciones contenidas en el Código de Ética aplicable.

CORFICOLOMBIANA Y CASA DE BOLSA O ALGUNA DE SUS FILIALES HA TENIDO, TIENE O POSIBLEMENTE TENDRÁ INVERSIONES EN ACTIVOS EMITIDOS POR ALGUNO DE LOS EMISORES MENCIONADOS EN ESTE INFORME, SU MATRIZ O SUS FILIALES, DE IGUAL FORMA, ES POSIBLE QUE SUS FUNCIONARIOS HAYAN PARTICIPADO, PARTICIPEN O PARTICIPARÁN EN LA JUNTA DIRECTIVA DE TALES EMISORES.

Las acciones de Corficolombiana se encuentran inscritas en el RNVE y cotizan en la Bolsa de Valores de Colombia, por lo tanto, algunos de los emisores a los que se hace referencia en este informe han, son o podrían ser accionistas de Corficolombiana. Corficolombiana hace parte del programa de creadores de mercado del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, razón por la cual mantiene inversiones en títulos de deuda pública, de igual forma, Casa de Bolsa mantiene este tipo de inversiones dentro de su portafolio.

ALGUNO DE LOS EMISORES MENCIONADOS EN ESTE INFORME, SU MATRIZ O ALGUNA DE SUS FILIALES HAN SIDO, SON O POSIBLEMENTE SERÁN CLIENTES DE CORFICOLOMBIANA, CASA DE BOLSA, O ALGUNA DE SUS FILIALES.

Corficolombiana y Casa de Bolsa son empresas controladas directa o indirectamente por Grupo Aval Acciones y Valores S.A.