



Investigaciones
Económicas

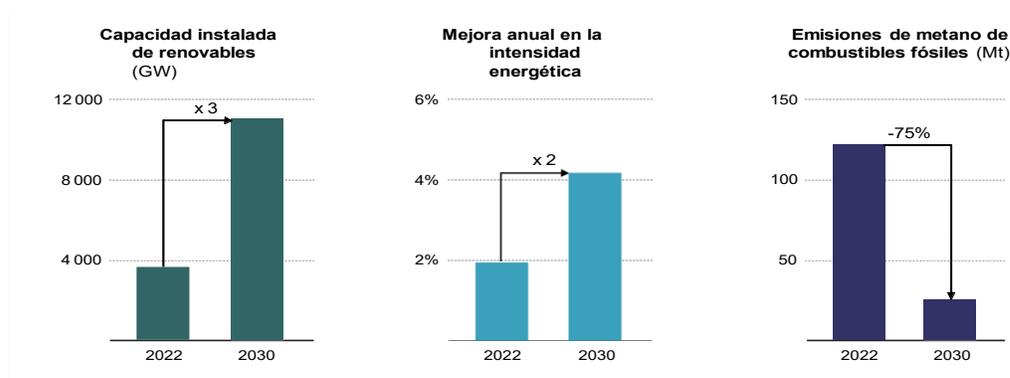
LECCIONES DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA GLOBAL PARA ADECUAR EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA – Resumen Ejecutivo



LECCIONES DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA GLOBAL PARA ADECUAR EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA – Resumen Ejecutivo – Informe completo [aquí](#)

El proceso de transición energética en curso en el mundo y en el país continúa ganando relevancia, en la medida en que se evidencian tanto la urgencia de corregir el rumbo climático del planeta -principal objetivo de esta transición- como el inmenso costo y sacrificio requeridos para implementar dicha transición. La urgencia de corregir el rumbo climático del planeta, principal objetivo de esta transición contrasta con el inmenso costo requerido para implementarla.

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 (109 vatios).*

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. Asimismo, evaluamos los cambios que podemos esperar en su implementación, teniendo en cuenta las restricciones económicas, ambientales y tecnológicas vigentes, así como los últimos acontecimientos relevantes a nivel mundial. Finalmente, establecemos los requisitos que debería cumplir la transición energética en Colombia, teniendo en cuenta la seguridad y la equidad energética del país, sus fortalezas y debilidades a nivel económico y ambiental, y las inmensas inversiones que se

requieren para materializar este proceso de transición, que ahora incluyen la inversión en adaptación y mitigación contra los efectos del cambio climático.

Caítulo 1: Justificación de la Transición Energética y el Rol del Gas Natural: Contextualizamos la transición energética como uno de los procesos requeridos para disminuir la emisión GEI y así evitar una tragedia ambiental, para lo cual se requiere de una redistribución de la matriz energética global. Asimismo, describimos el rol del gas natural como “combustible de transición” (combustibles fósiles que generan menos GEI frente a otros combustibles más contaminantes como el petróleo y -especialmente- el carbón), los compromisos internacionales en torno a la disminución de la emisión de GEI y otros mecanismos en desarrollo para facilitar la transición, como lo son los mercados de carbono. También recordamos que la transición energética requiere de la participación de todos los países, junto con un compromiso financiero equitativo que incorpore la “justicia climática”, lo cual aún no se ha podido concretar. En cualquier caso, el proceso de transición deberá garantizar la disponibilidad de energía a precios asequibles (seguridad energética).

Capítulo 2: Contexto global de la transición energética: Revisamos los principales acontecimientos a nivel global con incidencia sobre la transición energética; su enfoque, velocidad de implementación, entre otros, resultando en la actual primacía de las consideraciones económicas en los procesos de implementación y adaptación. Asimismo, destacamos la necesidad prioritaria de contar con confiabilidad energética, teniendo en cuenta las limitantes de cada fuente de energía para garantizarla, y la expectativa de que, en adelante, la seguridad energética va a mantenerse como la prioridad número uno.

Capítulo 3: Implementación global y local de la transición energética: Contrastamos los diferentes caminos que se han planteado para lograr la carbono-neutralidad y el acotamiento del calentamiento global a 2°C (idealmente 1,5°C) en promedio, por encima de los niveles preindustriales. Analizamos los escenarios de la Agencia Internacional de Energía y de la Red para el Reverdecimiento del Sistema Financiero (NGFS, *Network for Greening the Financial System*), concluyendo que ya no son alcanzables los escenarios de transición ideales (transición ordenada con cumplimiento de las metas parciales y finales) para lograr limitar el calentamiento a 2,0°C. Esto coincide con la actualización del *Net Zero Emissions by 2050* de la IEA publicada en septiembre de 2023, donde se afirma aún es posible limitar el calentamiento global a 1,5°C, pero no será el caso si todos los países se limitan a cumplir las políticas aprobadas hasta la fecha. Lo anterior refuerza la necesidad de países como Colombia de invertir más en mitigación y adaptación.

También revisamos algunos casos tipo de implementación de transición energética que deben servir de referencia para Colombia en aspectos como la necesidad de ampliar la capacidad de generación con FNCER, invirtiendo paralelamente en garantizar la confiabilidad del sistema, y, la necesidad de priorizar la sostenibilidad, que permitirá contar con los recursos requeridos para la transición, así como para la mitigación de los inevitables efectos del cambio climático. Además de lo anterior, para acercarnos a lo que se puede

esperar de la implementación de la transición energética en Colombia, revisamos la información oficial y vigente de la UPME para proyectar la oferta y demanda de energía esperadas, así como la información incluida en la versión actual de la “Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa”

Recomendaciones para el proceso de transición energética colombiano: En la parte final del documento realizamos algunas recomendaciones para el proceso de transición colombiano. Las recomendaciones tratan los siguientes aspectos: 1) Seguridad energética y emisiones, 2) Regresar el componente “sostenible” a la Transición Energética Justa (TEJ), 3) Precios al carbono, 4) Integración a mercados internacionales de carbono, 5) Captura directa de CO₂, reforestación y aforestación, 6) Capital privado y direccionamiento de la inversión, 7) Disponibilidad de información, 8) Regulación y señales, 9) Primer trilema: transición energética, seguridad energética y equidad energética, 10) Segundo trilema: el logro de las metas climáticas, sostenibilidad fiscal y factibilidad política, 11) Adaptación del proceso debido al contexto geopolítico (contexto post-COVID + invasión de Rusia a Ucrania), 12) Recomendaciones resultantes de los procesos de transición en Alemania y Noruega.+ Israel, 13) Cooperación política internacional, 14) Mantenimiento y ampliación de la red eléctrica 14) La minería y otros elementos que deben articularse, 15) Compromisos de Colombia en la reducción de GEI, 16) Electrificación y gasificación del transporte, 17) El papel de Ecopetrol y la futura Ecominerales y 18) Aprovechar la COP-16.

Conclusiones: Si se definiera a la transición como el reemplazo de combustibles fósiles en términos absolutos, esta transición no ha comenzado en términos globales. En el plano local, se aprecia una distancia cada vez mayor entre la potencia energética que puede ser Colombia, con la realidad actual. Lo anterior sin perjuicio del inmenso esfuerzo realizado internacionalmente y en nuestro país, parte del cual se evidencia a lo largo del documento. Aun así, tal como se ha identificado un camino para lograr enrutar el esfuerzo global hacia una transición ordenada, el Colombia podemos y debemos ajustar nuestro proceso, comenzando por reconocer la necesidad de contar con los recursos económicos del sector de hidrocarburos, priorizar la seguridad energética y poner en un primer plano al desarrollo de los 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)¹. 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.

¹ IEA (2023). *Electricity Grids and Secure Energy Transitions*.

Principales hallazgos del trabajo

Teniendo en cuenta la coyuntura actual y las expectativas en torno a la implementación de la transición energética global, resaltamos la necesidad de aplicar el aprendizaje de los últimos años a nivel mundial y local en la implementación de la transición energética colombiana, teniendo en cuenta las fortalezas y restricciones que tiene el país en la actualidad. Con esto en mente realizamos el presente trabajo, que puede servir de referencia para las partes interesadas en este proceso de transición. A continuación, resumimos los hallazgos del trabajo, terminando con una referencia a las recomendaciones que se desprenden de este (ver “Recomendaciones para el proceso de transición colombiano”).

Hallazgos del capítulo 1 - Justificación de la transición energética y el rol del gas natural:



Fuente: Depositshops.

- **Matriz energética global:** De la matriz energética global actual a nivel de fuentes (oferta energética total), el petróleo representa el 31,0%, el carbón 26,9% y el gas 24,4%. A nivel del uso de la energía (consumo), la mayor parte corresponde al consumo directo de combustibles fósiles, mientras que tan solo alrededor de la quinta parte del consumo energético final global corresponde a electricidad. La transición energética abarca la totalidad de la producción y el consumo energético.
- Tomando a las unidades energéticas (Julios, o Unidades Térmicas Británicas) como referencia de comparación, el gas natural emite 25,2% menos CO₂ que los combustibles líquidos derivados del petróleo (promedio de combustibles empleados en el transporte), y 47,8% menos que el carbón (promedio de los diferentes tipos de carbón), razón por la cual resulta menos contaminante y su uso más conveniente de cara a limitar la emisión de GEI. Asimismo, el gas natural es más económico y accesible para la población desde el punto de vista de su costo. Las fuentes de energía que generan bajas emisiones de CO₂ (como el gas natural) se pueden considerar como energías de transición.

- **La transición energética en curso:** Las diferentes maneras de satisfacer la demanda energética resultan en diferentes niveles de contaminación ambiental y emisión de GEI, responsables directos del calentamiento global. El proceso de transición energética busca satisfacer la demanda global de energía, disminuyendo la participación de sistemas basados en combustibles fósiles, reemplazándolos por sistemas basados en fuentes renovables, disminuyendo así la emisión de GEI. Asimismo, la transición energética asume una mayor participación de la electricidad (basada en fuentes renovables) en el consumo final, pasando de alrededor de la quinta parte a la mitad, junto con una mejora en la eficiencia energética.
- **Gases Efecto Invernadero:** Recordamos que, aunque el CO₂ tiene la mayor participación dentro de los GEI, no es el único gas cuyas emisiones deben disminuir para lograr limitar el calentamiento global. También debe limitarse la emisión de gas metano (CH₄) y de óxido nitroso (N₂O), gases con un mayor potencial de calentamiento y de cambio en la temperatura global frente al CO₂, pero con un tiempo de permanencia atmosférica menor. **A lo largo del documento, utilizamos unidades de CO₂ equivalente (CO₂eq) como unidad para referirnos a todos los GEI.**
- **Energías renovables:** Las energías renovables (energía cuya fuente es renovable), utilizadas principalmente para la producción de electricidad, generan muy pocas emisiones de GEI y no se acaban como es el caso de los combustibles fósiles que son finitos. Sin embargo, su utilización depende de las condiciones climáticas. Garantizar la confiabilidad en el uso de fuentes de energía renovable a gran escala depende de mayores desarrollos tecnológicos como el almacenamiento eléctrico. Asimismo, los desarrollos en torno a la energía geotérmica y el uso del hidrógeno para el almacenamiento y transporte de energía dependen de mayores inversiones y desarrollos tecnológicos. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), cerca del 35% de la reducción de CO₂ esperada para 2050 viene de tecnologías que aún están por desarrollarse.
- **Otros sectores:** La disminución de emisiones de GEI requerida para lograr limitar el calentamiento global no depende exclusivamente de la limpieza de la matriz energética. Durante los últimos años y a nivel global, cerca de tres cuartas partes de las emisiones de GEI provienen de la energía, incluyendo su utilización final (en Colombia la participación es cercana a la tercera parte), Sin embargo, para cumplir con las metas de cero emisiones netas de GEI a nivel global, también deben reducirse las emisiones asociadas a los procesos industriales, la construcción y especialmente el uso de la tierra.
- **Otros países:** La meta de carbono-neutralidad de China (mayor emisor de CO₂ del mundo) es a 2060, no a 2050, a pesar de ser el país que más invierte tanto en seguridad energética como en transición energética. Mientras tanto, la meta de India va a 2070. En todo caso, los compromisos globales

actuales cubren apenas la quinta parte de la reducción que debe darse al 2030 para cumplir con los objetivos de 2050. Anotamos que, para el logro de la meta climática de limitar el calentamiento global a 2°C de acá a 2050, a partir del logro de la carbono-neutralidad en dicho año, si bien hay varios caminos posibles, no sirve cualquier senda de disminución de emisiones, deben cumplirse metas parciales mínimas y para estas se toma como referencia el año 2030.

- **Inversiones:** Las inversiones en tecnologías de transición energética llegaron a USD 1,1 billones en 2022 (millones de millones), aumentando 31% a/a según Bloomberg (*BloombergNEF*, 2023). De acuerdo con la *International Renewable Energy Agency* (Agencia Internacional de Energía Renovable, IRENA por sus siglas en inglés) el monto llegó a 1,3 billones en 2022, a pesar de lo cual las inversiones anuales deben superar los 5,7 billones de acá a 2030. Finalmente, en la publicación *Net Zero Roadmap – A Global Pathway to Keep the 1.5 Goal in Reach* (IEA, 2023), la agencia estima que en 2023 se invertirán USD 1,8 billones en “energías limpias” a nivel global, y para lograr la meta de cero emisiones en 2050, de 2023 a 2030, esta inversión anual deberá incrementar 2,6x, ubicándose en USD 4,5 billones (3,5 billones de promedio anual).
- **Los países en desarrollo como Colombia no tienen la capacidad de inversión requerida, menos teniendo en cuenta que debe sumarse al requerimiento de inversión en adaptación y mitigación de los efectos actuales y esperados del cambio climático,** siendo un país que presenta una elevada vulnerabilidad al cambio climático (puesto 88 de 185 en el Índice de Vulnerabilidad Climática de la universidad de Notre Dame, ordenado de mejor a peor). Actualmente no hay un compromiso en firme de ayuda económica por parte de las economías desarrolladas hacia las demás. Así las cosas, solo con la preservación de las fuentes de ingreso (así estas vengan de los combustibles fósiles) se pueden garantizar -parte de- los recursos requeridos para invertir en la transición energética y la mitigación del cambio climático. Asimismo, será vital la participación privada en estas inversiones, con una participación requerida del 90% de las inversiones en economías en desarrollo (excluyendo a China) de acuerdo con el Fondo Monetario Internacional.
- **Otros desarrollos e incentivos:** Actualmente hay desarrollos en impuestos verdes (al carbono, sobre las bolsas plásticas, etc.), Sistemas de Comercio de Emisiones, etc. En cuanto a mercados de carbono, hay desarrollos importantes en Europa y EE. UU., pero no hay un mercado internacional centralizado propiamente, y el funcionamiento actual de los diferentes mecanismos está lejos de conducir a una reducción de emisiones globales. En Colombia, hay un impuesto al carbono sobre los combustibles fósiles, funciona un mercado no regulado de bonos de carbono y algunas empresas utilizan precios sombra del carbono en la evaluación de sus proyectos, para garantizar la viabilidad de estos, en caso de que se tuviera que pagar por dichas emisiones.

- **Emisiones de Colombia:** Colombia representa apenas el 0,55% de las emisiones de GEI y el 0,54% de las emisiones de CO₂ (*Our World in Data*, 2021). A nivel mundial, tiene una de las matrices de generación eléctrica más limpias del planeta (~70% de generación hídrica por capacidad instalada) y cuenta con extensiones de bosque relativamente altas, cumpliendo la tarea de absorber CO₂ de manera natural. Del total de las emisiones de CO₂ del país, el 57,4% corresponde a la agricultura y el uso de la tierra. Si le atribuyéramos a la industria de petróleo y gas la totalidad de las emisiones relacionadas con el transporte, la manufactura y las fugas de emisiones, participaría del 33,3% del total² (promedio de 2009 a 2020).

Hallazgos del capítulo 2 - Contexto global de la transición energética:



Fuente: Depositshops.

- **Cambios en el consumo y las emisiones debido al COVID-19:** Durante 2020, a causa del confinamiento relacionado con la pandemia de COVID-19, la demanda global de energía se redujo un 4,5% a/a, en 2021 la demanda se recuperó y sobrepasó la de 2019 en 1,3%. Mientras tanto, se redujeron las emisiones de CO₂ 5,6% a/a respecto al máximo de 36,6 Gt de 2019 (Giga toneladas, 10⁹ toneladas), y para julio de 2021 el nivel de emisiones ya se había “recuperado” por completo. Anotamos que inclusive la reducción de emisiones en 2020 resulta inferior a las reducciones anuales requeridas para lograr de manera ordenada y gradual los objetivos del Acuerdo de París firmado en 2015.
- La recuperación del consumo energético en 2021 coincidió con una menor capacidad de suministro de combustibles fósiles, resultado de los bajos niveles de inversión de los años anteriores, lo cual impulsó los precios al alza.

² La información anterior que va de 2009 a 2020, la tomamos de la UNFCCC (Naciones Unidas) y aparece en el Gráfico 18.

- **Guerra de Rusia y Ucrania:** La invasión de Rusia a Ucrania evidenció la dependencia energética europea, de los combustibles fósiles rusos. Además del impacto adverso en los costos para los consumidores y productores, varios países perdieron su fuente de confiabilidad o respaldo eléctrico, vital en los momentos cuando no hay capacidad de generación a través de fuentes renovables.
- **Seguridad energética:** La soberanía y seguridad energética son ahora prioridad para los países europeos, que por lo pronto no pueden abandonar del todo su consumo de combustible ruso. Mientras tanto, parte del consumo de gas ruso se ha reemplazado por el de carbón, uno de fósiles más contaminantes actualmente.
- A pesar del retroceso en términos de emisiones de GEI, la guerra entre Rusia y Ucrania viene acelerando la transición energética vía mayores inversiones en Europa, junto con el logro de mayores eficiencias a partir de una economía menos intensiva en energía, así como la menor dependencia de los hidrocarburos rusos.
- **Matriz energética y acción climática a nivel mundial:** Para 2021, más de la cuarta parte de la matriz energética global fue satisfecha por el carbón. Durante 2022 no se avanzó en la disminución de emisiones de CO₂ a nivel mundial. Sin embargo, la acción climática y la transición energética continuaron avanzando vía inversiones.
- En la actualidad hay varios estándares para la revelación de la información relacionada con las emisiones de carbono por parte de las empresas, inclusive estándares contables como el Protocolo de GEI (*GHG Protocol*). Asimismo, algunos emisores publican sus compromisos en relación con la disminución de sus emisiones de GEI, en el anexo 5 resumimos los compromisos anunciados por las principales petroleras globales, anotando que durante el último año, estas y otras empresas vienen relajando o haciendo más realistas estos objetivos.

Hallazgos del capítulo 3 – Implementación global y local de la transición energética:



Fuente: Depositshops.

(TEJ). Creemos que hace falta articulación para facilitar este proceso de transición, de tal forma que: i) Sean viables y sostenibles en lo económico los proyectos de generación por FNCER, ii) que Colombia participe en la transición global como proveedor de minerales esenciales, donde hay consenso respecto al potencial, pero no hay planes de desarrollo completos, ni información de reservas actualizados, y iii) haya coordinación entre la transformación del parque automotor, el crecimiento de la red eléctrica y la disponibilidad de gas natural, etc.

- **Escenarios de implementación:** Dada la asociación entre el calentamiento global, las emisiones globales netas de GEI y su acumulación en la atmósfera, la variable de medición y seguimiento a los diferentes escenarios es la emisión total de GEI. Los escenarios de implementación simulan la reducción de emisiones a cargo del sector energético y la industria, como el cumplimiento de promesas anunciadas, el cumplimiento de políticas declaradas, el cumplimiento de las metas de largo plazo (a 2050) con una implementación desordenada y/o tardía, etc.
- La trayectoria vigente con relación a las emisiones netas de CO₂, no coincide con el cumplimiento ordenado de la carbono-neutralidad a 2050 ni la limitación del calentamiento global promedio a 2,0°C (idealmente 1,5°C).
- **Políticas declaradas y promesas anunciadas:** Como era de esperarse, las políticas declaradas hasta ahora por cada país pecan por su falta de ambición, y su implementación resultaría insuficiente para cumplir las metas de carbono-neutralidad y limitación del calentamiento global para 2050. Mientras tanto, las promesas anunciadas son más ambiciosas -y su probabilidad de cumplimiento es menor-, a pesar de lo cual también son insuficientes para cumplir con las metas de 2050.

- Los compromisos de política deben ser aún más ambiciosos que las metas declaradas hasta ahora para pensar en cumplir los objetivos climáticos de largo plazo. Aun si se incrementan los compromisos y su cumplimiento, lo más probable es que se presente una transición demorada y acelerada, lo cual implicará mayores sacrificios y costos futuros, así como mayores efectos ambientales adversos por el desorden climático en curso. En general, el incumplimiento de la meta a 2050 pasa por el incumplimiento de las metas parciales a 2030, por lo que se va a requerir de absorción directa de GEI atmosférico, además de los procesos de transición energética (IEA, 2023).
- **Diagnóstico negativo:** Con la implementación de las políticas actuales, el calentamiento adicional a 2050 sería de 2,4°C, con pérdidas en el PIB mundial de entre 4% y 18%, distribuido de manera heterogénea, afectando más a los países con mayor vulnerabilidad al cambio climático, países pobres en su mayoría. La esperanza de cumplir con la meta climática de largo plazo de acuerdo con la última actualización de la IEA ya citada, se basa en el incremento en las inversiones relacionadas con la transición durante 2023 (mayores a lo invertido en el sector de Petróleo y Gas), el aumento en la capacidad instalada de energía solar y el aumento en la flota de vehículos eléctricos, junto con el supuesto de que el pico en la demanda por combustibles fósiles se presentará en 2030.
- **Caso Tipo Alemán:** El caso tipo de Alemania, evidencia que la confiabilidad y el respaldo a la matriz de generación eléctrica no se puede basar en un único combustible, mucho menos de un único proveedor. No se puede depender en términos energéticos de un único país (Rusia), teniendo en cuenta el efecto de los precios de la energía sobre la inflación y el crecimiento económico. Mientras no se desarrollen tecnologías de almacenamiento a gran escala, las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) no proveen confiabilidad energética.
- **Caso Tipo Noruega:** El caso de Noruega es ilustrativo para países como Colombia, que disponen de combustibles fósiles para autoabastecerse y exportar, tienen una matriz eléctrica limpia, así como metas ambiciosas de transición energética y acción climática. Ese país está supliéndole al resto de Europa parte del combustible que se le dejó de comprar a Rusia, limitando en parte el uso de más carbón en Europa y beneficiando a la economía noruega, con recursos que podrán invertirse en tecnologías limpias. La preocupación noruega en torno al sector no es por temas ambientales, sino por el reconocimiento de que la demanda mundial por combustibles fósiles eventualmente va a disminuir, por lo que no podrá contar con los recursos provenientes de su venta en el largo plazo. Recalcamos -lo obvio- que las emisiones de GEI en el sector de Petróleo y Gas se dan mayoritariamente durante el consumo de los combustibles, independientemente de quién los esté produciendo. Asimismo, si partimos de que serán los barriles de petróleo más baratos de producir, los últimos en venderse (en la medida en que disminuya la demanda), lo que no venda Colombia, va a venderlo otro país.

- **Desarrollo del gas natural en Israel:** 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.

Colombia: Futuro en construcción

A lo largo del documento hicimos referencia a Colombia; lecciones que pueden aplicarse al país, elementos que describen al sistema energético, etc. En esta sección describimos el estado actual de la transición energética en Colombia, lo publicado hasta ahora de la Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa, la actualización el Plan Energético de Largo Plazo, la electrificación del sector transporte, el papel esperado del gas natural, entre otros. Teniendo en cuenta todo lo anterior, terminamos el documento con una serie de recomendaciones al proceso de transición en curso.

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.

- **Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa (TEJ) en construcción:** En la documentación de la TEJ publicada hasta ahora, se omitió el componente “sostenible” que aparecía anteriormente. Este elemento es vital para que haya viabilidad financiera y seguridad energética, así como para posicionamiento de Colombia a nivel internacional en los mercados energético y minero durante el proceso de transición energética global. Buena parte del diagnóstico y las expectativas (proyecciones) de la transición han sido publicadas, pero hace falta lo relacionado con la coordinación de sectores tales como la minería y el transporte, así como los compromisos en materia de reducción de emisiones de GEI provenientes de sectores diferentes al energético.
- **Evolución reciente de la transición en Colombia:** La actualización del plan estratégico de largo plazo de Ecopetrol (Ecopetrol, 2023. Energía que transforma Estrategia 2040), vemos 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. Por otro lado, hay consenso respecto al potencial de Colombia a nivel de minerales, sin avances recientes en el inventario de reservas. Mientras tanto, De 2020 para acá, la posición de Colombia en el ranking de transición energética realizado por el Foro Económico Mundial viene

deteriorándose, pasando del puesto 25 en 2020 al 39 en 2023 (WEF, 2023), en línea con el pobre avance que ha tenido el país en la ampliación de la oferta de electricidad generada por FNCER.

- **El transporte como motor de cambio y el proceso de electrificación en curso:** Hasta ahora, 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 (de combustibles líquidos a electricidad y a gas). Con la información actual y las proyecciones oficiales, en 2030 solamente el 6% del total de la flota vehicular colombiana será eléctrica. La mayor electrificación de la flota vehicular requerirá de subsidios económicos.
- **El gas como oportunidad de descarbonización: ¿en peligro?:** 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.
- **¿De dónde van a salir los recursos?:** De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD (estimaciones de Mauricio Cárdenas), 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 monto enorme teniendo en cuenta que la inversión total del Gobierno Nacional en 2024 está presupuestada en cerca de 5,9% del PIB