

ENERGÍA

Diseñar el presente para ocupar nuestro puesto en el futuro de la energía sostenible para el mundo

DISEÑAR EL PRESENTE PARA OCUPAR NUESTRO PUESTO EN EL FUTURO DE LA ENERGÍA SOSTENIBLE PARA EL MUNDO

1

CONSTRUYENDO UN FUTURO ENERGÉTICO IDEAL EN COLOMBIA

2

¿CUÁLES RETOS QUE ENFRENTA HOY EL SECTOR DE ENERGÍA LE IMPIDEN CONCENTRARSE EN LOS PROBLEMAS FUTUROS?

3

EL FUTURO DE LA ENERGÍA EN UN MUNDO CAMBIANTE

4

TENDENCIAS DEL FUTURO

5

SÍNTESIS DE RECOMENDACIONES

6

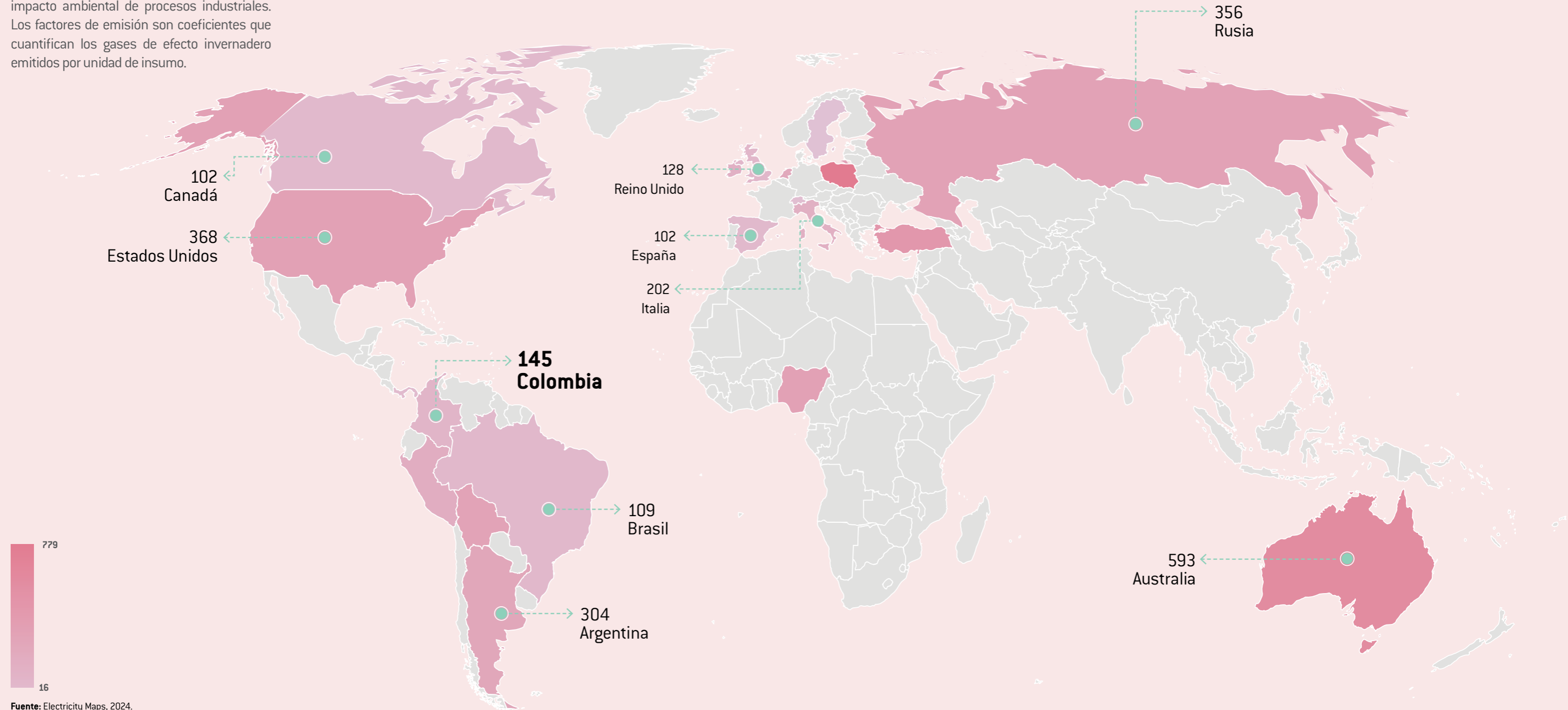
REFERENCIAS

7

Aumento o aumento del Precio eléctrico en el mercado mundial. Estación de energía fotovoltaica con doble exposición de gráficos financieros digitales y mercado de valores. Energía verde en pleno desarrollo.

INTENSIDAD DEL CARBONO Y FACTORES DE EMISIÓN

El índice de intensidad del carbono mide las emisiones de CO₂ por unidad de producción o energía consumida, evaluando la eficiencia e impacto ambiental de procesos industriales. Los factores de emisión son coeficientes que cuantifican los gases de efecto invernadero emitidos por unidad de insumo.





PERFIL DE COLOMBIA EN ENERGÍA

Tema	Indicador	Valor Colombia	Ranking en América Latina	Mejor país en América Latina (valor)	Promedio OCDE	Fuente
Panorama general	Ranking en el Energy Trilemma Index (de DDDd a AAAa)	BCAc	9 de 17	Uruguay (BBAb)	BBAa	World Energy Council (2023)
	Capacidad instalada de fuentes renovables, excluyendo hidroeléctrica (porcentaje del total)	0,9%	11 de 20	Brasil (56,5%)	21%	Energy Information Administration (2022)
Confiabilidad, cobertura y calidad	Capacidad instalada de fuentes renovables, incluyendo hidroeléctrica (porcentaje del total)	20%	2 de 12	Brasil (145,7%)	14%	Energy Information Administration (2022)
	Capacidad instalada de fuentes fósiles (porcentaje del total)	20,9%	4 de 20	Brasil (202,3%)	33%	Energy Information Administration (2022)
	Participación de la principal fuente de generación/ participación de las energías renovables en la matriz de energía eléctrica	68,42%	5 de 17	Paraguay (100%)	50%	Energy Information Administration (2022)
	Número de días requeridos para obtener una conexión a energía permanente	88	13 de 17	Panamá (35)	74,8	Banco Mundial (2019)
	Calidad del suministro eléctrico (posición entre 141 países)	87	12 de 17	Chile (20)	32	WEF (2019)
	Índice de confiabilidad de la oferta de energía y de transparencia de las tarifas (de 0 a 8)	6	5 de 17	Costa Rica (8,0)	7,4	Banco Mundial (2019)
	Índice de atracción de inversión	36,9	6 de 8	Brasil (68,5)	58,2	Instituto Fraiser (2023)
	Precio	Precios de la energía eléctrica para la industria (USD centavos/kWh)	12,86	8 de 13	Paraguay (3,95)	10,9
Eficiencia	Intensidad energética de la economía (1.000Btu/2015 GDP PPP)	1,76	16 de 17	Argentina (3,95)	2,9	EIA (2022)
	Energía per cápita (MMBtu/persona)	25,8	11 de 17	Panamá (87,16)	130,25	EIA (2022)



DISEÑAR EL PRESENTE PARA OCUPAR NUESTRO PUESTO EN EL FUTURO DE LA ENERGÍA SOSTENIBLE PARA EL MUNDO

La capacidad de un país para proporcionar energía de manera confiable, accesible y sostenible es determinante para su competitividad global, tanto en el corto como en el largo plazo. Además de ser un pilar vidente de cualquier proceso productivo afecta todos los aspectos de la vida de las personas: su capacidad de alimentarse, de cuidar su salud, de aprender, producir y soñar. Por lo tanto, como tantas otras condiciones habilitantes que evaluamos en el Informe Nacional de Competitividad, el suministro eléctrico es una capa necesaria -si bien insuficiente- para cualquier discusión de bienestar y desarrollo de la sociedad.

Contar con una matriz energética diversificada, resiliente y estable es necesario para enfrentar desafíos que conlleva el cambio climático, y en el caso de nuestro país es además una enorme oportunidad de buscar fuentes de crecimiento económico aprovechando nuestras riquezas naturales y la necesidad del mundo desarrollado -y parte del emergente- de expiar sus pecados de contaminación.

Las economías avanzadas y algunas emergentes están transitando hacia fuentes de energía más limpias y eficientes. La Unión Europea, a través del Green Deal, ha establecido objetivos ambiciosos para reducir las emisiones de carbono y aumentar el uso de energías renovables. En Asia, China lidera la inversión en tecnologías de energía limpia, mientras que en América del Norte, Estados Unidos y Canadá están fortaleciendo sus infraestructuras para transitar hacia una transición energética *justa*.

Por otra parte, los países de ingresos medios o menos industrializados deben lidiar con desafíos de acceso y asequibilidad energética. Para ellos se requiere un enfoque diferente en la planificación de su transición energética. Para estos territorios, la sostenibilidad pasa por reducir su ya baja huella de carbono, y por permitir un crecimiento económico incluyente, con un suministro energético fiable y asequible. Este es el caso de Colombia.

En este contexto, el equilibrio entre el desarrollo de nuevas fuentes de energía renovable y la optimización de las infraestructuras y fuentes existentes es determinante para mantener la estabilidad y avanzar hacia un futuro energético más limpio y eficiente.

La planificación a largo plazo permite anticiparse a las necesidades futuras de demanda y oferta, y también facilita la identificación de oportunidades estratégicas para el desarrollo de energías limpias y la diversificación de la matriz energética. En un entorno tan dinámico como el sector energético y donde la confianza y estabilidad es necesaria para alcanzar las metas que el sector se propone, contar con una visión clara con un horizonte de al menos 30 años permite mitigar los riesgos asociados a la volatilidad de los mercados energéticos, garantizar un suministro confiable y sostenible, y hacer los ajustes necesarios para atraer las inversiones para impulsar el desarrollo. De esta manera, se asegura una transición ordenada hacia un sistema energético más resiliente, capaz de enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades que trae consigo el futuro.

Una parte de la diversificación implica un aumento en las fuentes no convencionales de energía no renovable (FNCR) y en consecuencia son necesarios marcos regulatorios y procesos de ejecución que logren atraer inversión hacia dichos proyectos para fortalecer el sector. El marco regulatorio debe estar acompañado de mecanismos y herramientas que permitan la efectividad en la toma de decisiones de manera efectiva y ágil. Asimismo, deben ser lo suficientemente robustas y flexibles para enfrentar los desafíos de un entorno energético en constante evolución, marcado por los avances tecnológicos y la creciente necesidad de garantizar la confiabilidad y sostenibilidad del suministro ante un entorno en constante evolución.

Teniendo en cuenta lo anterior, este capítulo busca realizar un diagnóstico sobre las oportunidades que tiene Colombia en el sector energético y cómo las grandes tendencias mundiales pueden ser una ventana de oportunidad para la consolidación y fortalecimiento del sector. Para ello, el capítulo consta de tres partes. En primer lugar, se analiza el escenario prospectivo para Colombia en el sector energético. Luego, se examinará cómo se han desarrollado el mundo y Colombia en tres macro-tendencias: cambio tecnológico, cambio climático y cambio demográfico. Finalmente, se presentará una sección de recomendaciones para fortalecer la competitividad energética del país.



CONSTRUYENDO UN FUTURO ENERGÉTICO IDEAL EN COLOMBIA

Una visión prospectiva del futuro energético de Colombia debe basarse en una idea de diversificación que permita optimizar las fuentes pensando en varios objetivos. Par ello es útil declarar que el punto de partida es una matriz muy limpia de generación eléctrica, pero a partir de una fuente caprichosa, como tienden a ser las fuentes no fósiles, en este caso la hídrica. Si pensáramos en una receta que tiene un ingrediente ese sería limpieza, y ¿el que le falta? Confiabilidad. Sin embargo, la confiabilidad no es un ingrediente que aporten las fuentes no convencionales y renovables: es un ingrediente propio de fuentes más contaminantes pero que logran altas eficiencias y certezas a la hora de generar. En consecuencia, los esfuerzos por tener una matriz que cuente con un mayor número de fuentes no convencionales renovables es el esfuerzo de aprovechar el potencial del país para pensar en proveerle energía limpia al mundo, pero no necesariamente para balancear el portafolio de generación interna con el ingrediente faltante.

Esto nos deja con múltiples tareas para realizar en el horizonte mencionado: Colombia deberá optimizar toda su cadena de suministro energético, corregir las falencias actuales, diversificar la matriz energética con fuentes renovables, pero también con capacidad más confiable y maximizar su capacidad instalada. La integración de energías limpias como la solar, la eólica, el hidrógeno y la biomasa debe ir de la mano con la confiabilidad de energéticos convencionales como el gas natural y el carbón, los cuales jugarán un rol clave en la transición energética y en situaciones críticas.

La encuesta de prospectiva del Consejo Privado de Competitividad (CPC), junto al ejercicio de prospectiva ha permitido

plantear un escenario ideal con estas características para el sector energético, basado en visiones compartidas y objetivos conjuntos. El ejercicio de prospectiva consistió en unir expertos en el tema de energía para discutir los temas más relevantes del sector presente y con una mirada al futuro. Este se llevó a cabo en 3 partes: (1) Plantear un escenario deseado que promueva un sistema energético sostenible, resiliente y competitivo para el año 2054; (2) Proponer las acciones necesarias para cumplir con estas visiones de futuro, las cuales incluyen inversiones en infraestructura, la adopción de tecnologías innovadoras, y la creación de políticas públicas que favorezcan el sector y la transición hacia energías renovables; (3) Identificar los riesgos que podrían impedir la materialización de estos escenarios, como la inestabilidad regulatoria, la falta de inversión en innovación, y los impactos del cambio climático.

El resultado del ejercicio prospectivo resalta la importancia de una planificación estratégica y coordinada, que no solo aproveche las oportunidades actuales, sino que también anticipa y mitigue posibles desafíos futuros y tendencias que logren ser utilizadas como oportunidades de crecimiento para el país.

De esta manera, se espera que para el año 2050 el sistema sea sostenible, eficiente, confiable, accesible y asequible para todos. Se enfatiza que este sistema debe estar fundamentado en la autosuficiencia, en la gestión público-privada, y la diversificación de fuentes de energía en su generación, promoviendo la educación y la conciencia sobre el uso responsable y limpio de los recursos energéticos.



Ilustración 1. Nube de palabras del ejercicio prospectivo de CPC 2024



Hacia 2050, el sistema de energía debe basarse en un sistema público-privado que provee energía de diversas fuentes; aprovecha las oportunidades de crecimiento de la demanda; optimiza toda la cadena de suministro; y vela por la confiabilidad y sostenibilidad ambiental del acceso de ciudadanos y empresas al servicio de energía.



Fuente: Encuesta de Prospectiva del CPC, 2024.



¿CUÁLES RETOS QUE ENFRENTA HOY EL SECTOR DE ENERGÍA LE IMPIDEN CONCENTRARSE EN LOS PROBLEMAS FUTUROS?

¿De dónde partimos? Colombia posee un sector energético con una fuerte dependencia de la energía hidroeléctrica, una fuente limpia y renovable, que representa alrededor del 65-70% de la generación eléctrica. Sin embargo, esta dependencia lo hace vulnerable a fenómenos climáticos como El Niño, que reduce la disponibilidad de agua y afecta la generación. El país también utiliza fuentes térmicas a base de gas y carbón, mientras que las energías renovables no convencionales (solar y eólica) están en expansión, pero aún representan una porción pequeña de la matriz energética. Aunque el país ha aumentado su capacidad instalada de energías renovables, pasando de un 1 % en 2018 a un 7 % proyectado para 2024, la concentración en fuentes hidroeléctricas sigue siendo evidente.

Después del apagón del inicio de la década de los noventa, se trabajó fuertemente en la confiabilidad del sistema con resultados exitosos pero que iban a ir enfrentando nuevos retos dada la evolución de los entornos.

La necesidad de incorporar fuentes no convencionales renovables concentró muchos esfuerzos recientes, pero a medida que estos esfuerzos aumentaban también lo hacían los tiempos de licenciamiento de todo tipo de proyectos de infraestructura. Paulatinamente fuimos perdiendo la capacidad de que todos los llegaran a su fase de ejecución en los tiempos previstos, y muchos de ellos con tal nivel de extemporaneidad (y consecuente aumento en los costos) que se convirtieron en desistimientos de la inversión.

Los problemas incluyen demoras en los puntos de conexión, la falta de capacidad plena de las redes, y las dificultades en los procesos de consulta previa para la construcción de infraestructura energética. Además, la lentitud en los tiempos de respuesta regulatorios y el incumplimiento de los términos legales establecidos

generan incertidumbre en el desarrollo de proyectos, afectando tanto la generación como la transmisión y distribución de energía.

Las consultas previas y los procesos de licenciamiento han sido barreras significativas para el desarrollo de nuevos proyectos energéticos en Colombia. De acuerdo con la Asociación de Energías Renovables (SER), en promedio, un proceso de consulta previa toma 18 meses. Para junio del 2024, de un total de 428 proyectos revisados, solo 10 contaban con licencia ambiental aprobada. Colombia ha realizado múltiples esfuerzos para diversificar su matriz energética mediante la incorporación de energías renovables no convencionales, como la solar y la eólica. Como ya se mencionó estos proyectos no han sido incorporados a la velocidad deseable, pero, en cualquier caso, la intermitencia inherente a estas fuentes plantea nuevos retos para la confiabilidad del sistema. Si bien estas energías contribuyen significativamente a la reducción de emisiones de carbono, su variabilidad dificulta asegurar un suministro continuo y estable, indispensable para mantener la confiabilidad.

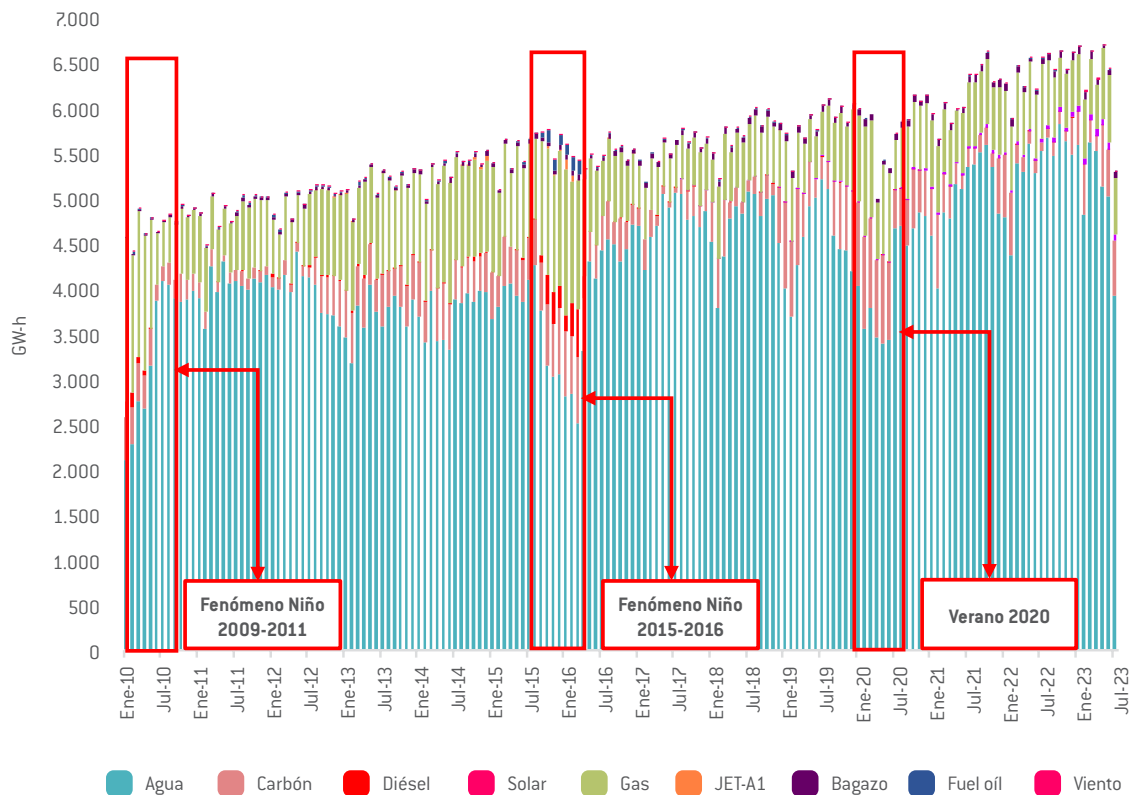
Con una matriz que descansa mayoritariamente en fuentes hídricas, el parque térmico ha demostrado ser esencial, contribuyendo con hasta el 50% de la generación total en episodios climáticos críticos, como ocurrió en diciembre de 2009, enero de 2010 y enero de 2016. Si bien la energía solar se correlaciona negativamente con el riesgo de la hídrica, en todos los casos -incluyendo la fuente eólica- estamos frente a fuentes intermitentes para las que aún no contamos con la tecnología de almacenamiento que permite darles el atractivo de la confiabilidad. Esto subraya la importancia de la capacidad térmica para garantizar el suministro de electricidad y aportar a la confiabilidad del sistema cuando las condiciones hídricas no son favorables (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2023b).



Gráfica 1. Generación de electricidad en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)



El aporte del parque térmico ha fluctuado sustancialmente, pero en periodos de El Niño o de verano intenso ha contribuido con valores cercanos al 50 % del total generado, como lo registrado en los meses de diciembre de 2009, enero de 2010 y enero de 2016 (UPME, 2023b).



Fuente: (UPME, 2023)

Por otra parte, existen las discusiones de la infraestructura por fuera de la generación. Se ha desatendido en cierta medida la infraestructura de respaldo y el margen de reserva, lo que ha generado vulnerabilidades ante un aumento importante en la volatilidad de la generación hídrica. Y, finalmente, el país enfrenta desafíos en la infraestructura de transmisión, el acceso a energía en zonas rurales, y la modernización de la red eléctrica.

La energía generada en zonas como La Guajira no puede ser transportada de manera eficiente hacia los principales centros de consumo debido a la falta de infraestructura adecuada. Los proyectos FENCER, como los de La Guajira, no pueden aportar al sistema de manera eficiente debido a la ausencia de redes de transmisión adecuadas que evacúen la energía hacia los centros de consumo en el centro y sur del país. Este cuello de botella en la red de transmisión impide

una distribución equilibrada, lo que reduce la capacidad del sistema para responder de manera estable a la demanda, afectando la confiabilidad del suministro. Además, la falta de inversiones en infraestructura de almacenamiento energético limita la capacidad de mitigar la intermitencia de fuentes renovables como la solar y la eólica.

El retraso en proyectos clave, como la línea Virginia-Nueva Esperanza, ha puesto en riesgo el suministro eléctrico para Bogotá y otras regiones estratégicas del país. Acolgen prevé que este problema puede llevar a desabastecimientos que afecten tanto a la industria como a la calidad de vida de los habitantes para el año 2026 (Foro Internacional de Servicios Públicos Domiciliarios, 2024). El insuficiente desarrollo de líneas de transmisión no solo restringe el acceso a la energía en regiones apartadas, sino que también influye directamente en los costos.



Aunque persisten importantes retos relacionados con la deficiencia en la red de transmisión y la evacuación de energía en zonas clave como La Guajira, se están dando pasos significativos para mejorar esta situación. La fase inicial de la Misión Transmisión comprende siete obras urgentes, proyectadas para ejecutarse en un plazo de 4 a 7 años, diseñadas para fortalecer tanto los Sistemas de Transmisión Nacional como Regional. Estas obras se centran en nodos crí-

ticos identificados por XM S.A. E.S.P. y abarcan regiones prioritarias como La Guajira, Cesar, Magdalena, Córdoba, Sucre, Chocó y Norte de Santander, donde las carencias de infraestructura han afectado la confiabilidad del sistema. Además, la UPME ha implementado un mecanismo de “fast track” para acelerar la adjudicación de estas obras, lo que permitirá una ejecución más rápida de proyectos esenciales para mejorar la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico nacional.

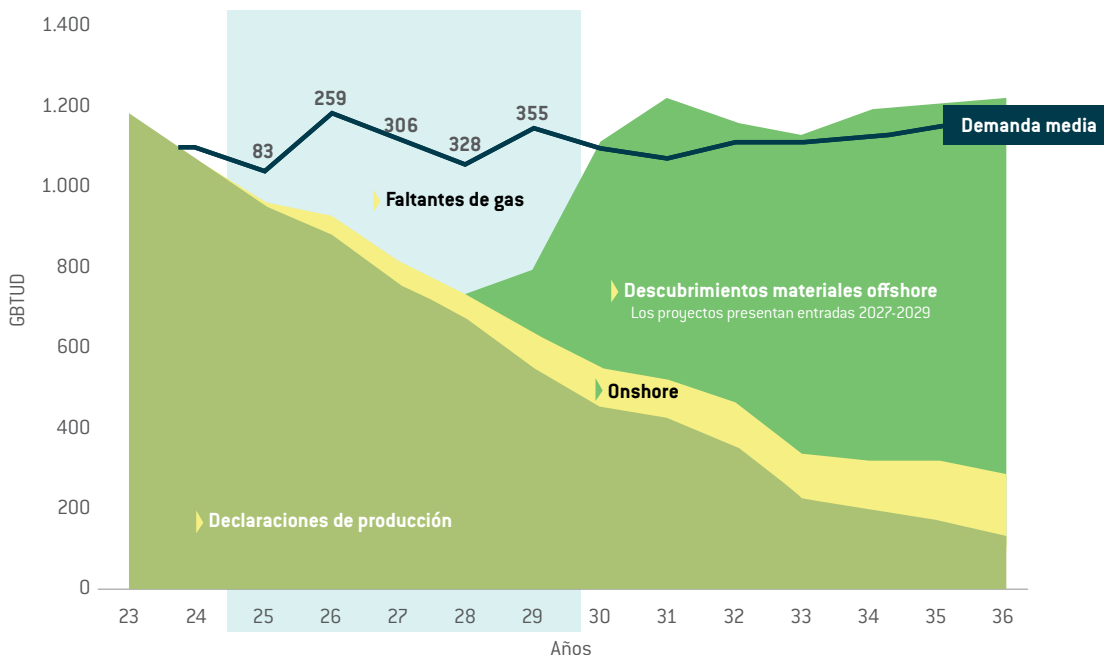
LOS INGREDIENTES QUE DESESTIMAMOS

Dentro de las señales recientes de política pública quizá una de las que más preocupación genera es la que afecta el suministro de gas. Las reservas de gas en Colombia han disminuido un 55 % desde 2010, lo que anticipa un faltante significativo hacia finales de esta década, equivalente a casi un tercio de la demanda proyectada. Se prevé un déficit del 8 % de la demanda nacional para 2025 (Ecopetrol, 2024). Frente a esta situación, el principal plan de acción es el desarrollo de la producción de

gas *offshore*, que se espera comience a cubrir las necesidades del país hacia 2029, aunque esto dependerá de grandes inversiones y esfuerzos en que los procesos se den sin las dilaciones que ya se han descrito anteriormente para los proyectos de generación eléctrica. En el mejor de los casos, el país enfrenta el fin de la era de contar con gas a precios asequibles. El aumento en los precios afectará directamente a los 38 millones de usuarios de gas en Colombia.

Gráfica 2. Balance de la oferta-demanda nacional de gas. Proyecciones a 2036

A partir del 2025 Colombia entraría en un desabastecimiento de gas hasta el 2029. La oferta de gas natural será 8 % inferior a la demanda.



Fuente: Ecopetrol (2024).



Las señales que se dan a inversores apuntan a detener la exploración de nuevos yacimientos de gas, una medida que compromete la capacidad del país para descubrir nuevas reservas que podrían mitigar el déficit proyectado y asegurar el suministro futuro. Sin nuevas inversiones y proyectos exploratorios, el agotamiento de las reservas deja al país en una situación de mayor dependencia de importaciones, con implicaciones negativas para la seguridad energética y los costos para los consumidores. La incertidumbre sobre el rumbo de la política energética en torno al gas también desincentiva la inversión en infraestructura crítica, complicando aún más la viabilidad de garantizar un abastecimiento energético estable a largo plazo.

Abordar los problemas que afectan la confiabilidad del sistema energético es crucial para evitar un escenario similar al apagón de 1992, cuyo impacto estimado fue un menor crecimiento del PIB del 1,5 %, la pérdida de 230.000 empleos, y un aumento significativo en los niveles de pobreza y pobreza extrema (Probogotá Región, 2024). La preocupación actual por un posible apagón obliga

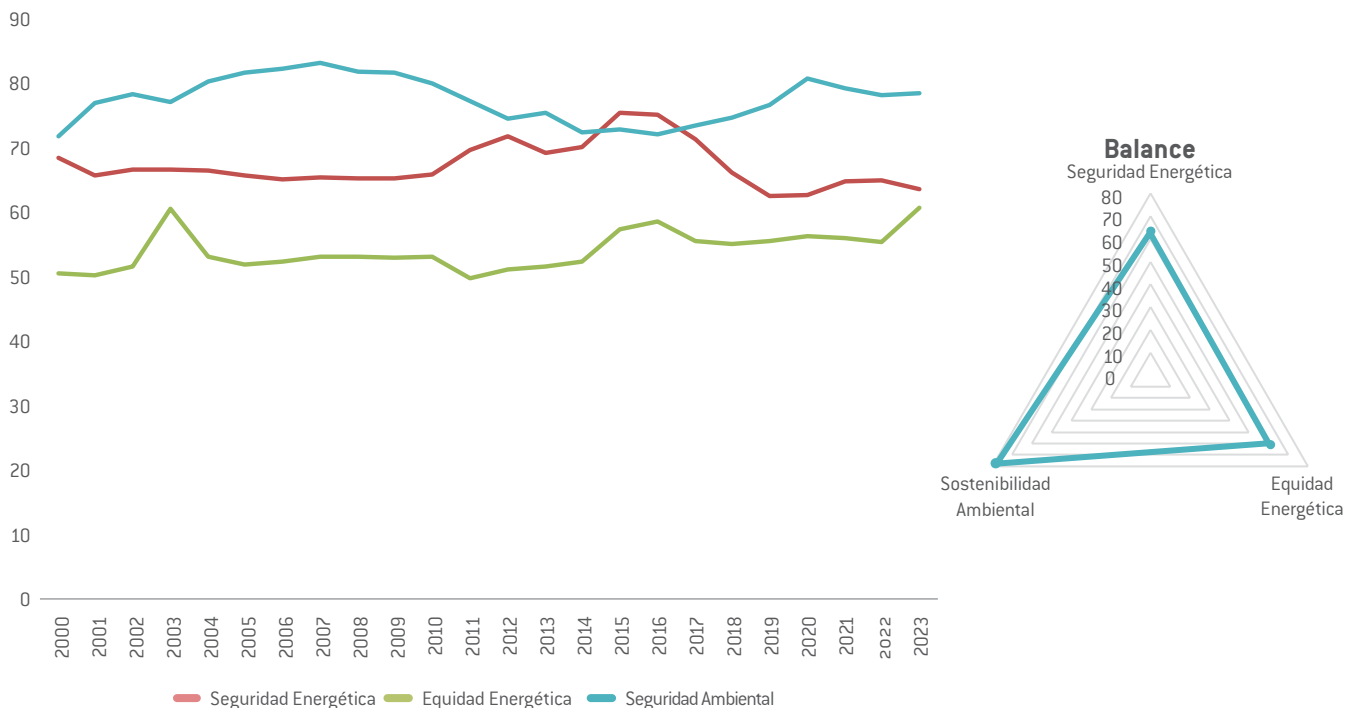
al sector a enfocarse en soluciones inmediatas, lo que retrasa la planificación estratégica a largo plazo. Es fundamental regresar a dicho ejercicio, incorporando las lecciones aprendidas, para mitigar los riesgos climáticos futuros, se acentuarán con el tiempo. Garantizar la confiabilidad del sistema no solo es clave para evitar interrupciones que afectarían gravemente la productividad y competitividad del país en el corto plazo, sino que también es fundamental para prepararse ante crisis climáticas futuras, asegurando un suministro más resiliente y estable.

Ahora bien, una vez se incorporan los precios en la ecuación, pasamos a una discusión más amplia que es la de seguridad energética, que no sólo nos implica contar con el suministro ininterrumpido sino también en condiciones asequibles de precio. El índice del trilema energético, que evalúa cómo los países equilibran tres dimensiones clave: seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental, ha mostrado que desde 2017 se ha dado una caída preocupante en la seguridad energética, mientras que la sostenibilidad ambiental ha seguido una tendencia positiva.

Gráfica 3. Índice del trilema para el caso de Colombia



A partir de 2017 se ha observado una caída preocupante en la seguridad energética, mientras que la sostenibilidad ambiental ha seguido una tendencia positiva.



Fuente: World Energy Trilemma Index, 2023



En adición a la discusión de confiabilidad, un aspecto crítico que afecta la seguridad energética en Colombia es la competitividad de las tarifas de energía. Las tarifas en Colombia son elevadas en comparación con otros países. Aunque las energías renovables han ayudado a reducir algunos costos de generación, la falta de infraestructura adecuada para la transmisión y el almacenamiento de energía provoca ineficiencias significativas que se reflejan en los precios finales que pagan los usuarios. Además, la falta de inversión en infraestructura y los problemas regulatorios y de licenciamiento retrasan el desarrollo de nuevos proyectos, lo que limita la capacidad del sistema para ser más eficiente y competitivo. Es crucial entonces retomar la planeación de largo plazo y la ejecución de los proyectos en toda la cadena de suministro que nos permita que la oferta cumpla con la senda de demanda sin presionar los precios para reflejar la escasez. El precio de la energía eléctrica depende en gran medida del tipo de combustible utilizado para su generación. En términos generales, la generación hídrica es la más

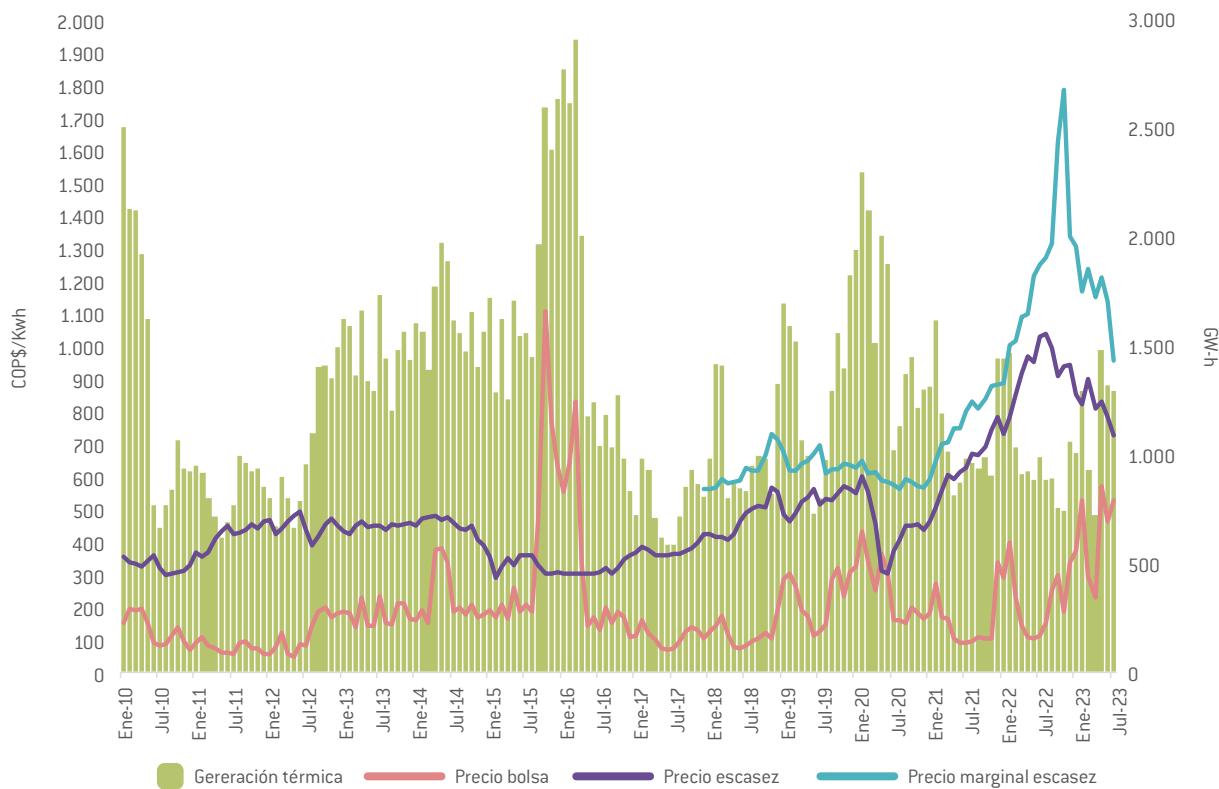
competitiva y tiene un papel predominante en la determinación del precio en bolsa, dado su aporte significativo a la capacidad efectiva de generación en Colombia. Sin embargo, cuando hay una alta variabilidad climática, como fenómenos de sequía o alteraciones en los patrones de lluvia, el suministro de energía hídrica se ve afectado, lo que provoca un aumento en la participación de fuentes más costosas, como la generación térmica. Esto, a su vez, eleva los precios de la energía eléctrica en el mercado, afectando tanto a los consumidores como a la estabilidad del sistema, pero permitiendo que éste regule su propia escasez.

Es importante dimensionar que los aumentos en los precios que se dan para reflejar la escasez de los recursos vigentes son necesarios para regular el sistema. Impedir que esta señal se presente lleva a empeorar las condiciones futuras puesto que impide que el sistema administre precisamente el recurso escaso adecuadamente. Lo que es fundamental sí, es corregir las fuerzas que llevaron a tener una oferta insuficiente.

Gráfica 4. Evolución del precio de bolsa y escasez



En el 2023, el precio de bolsa inició un ascenso sostenido y llegó a la media de COP 397,3/kWh, y en el segundo trimestre fue mayor en un 6 %. Esto se puede atribuir a la llegada del fenómeno de El Niño.



Fuente: UPME, 2023.



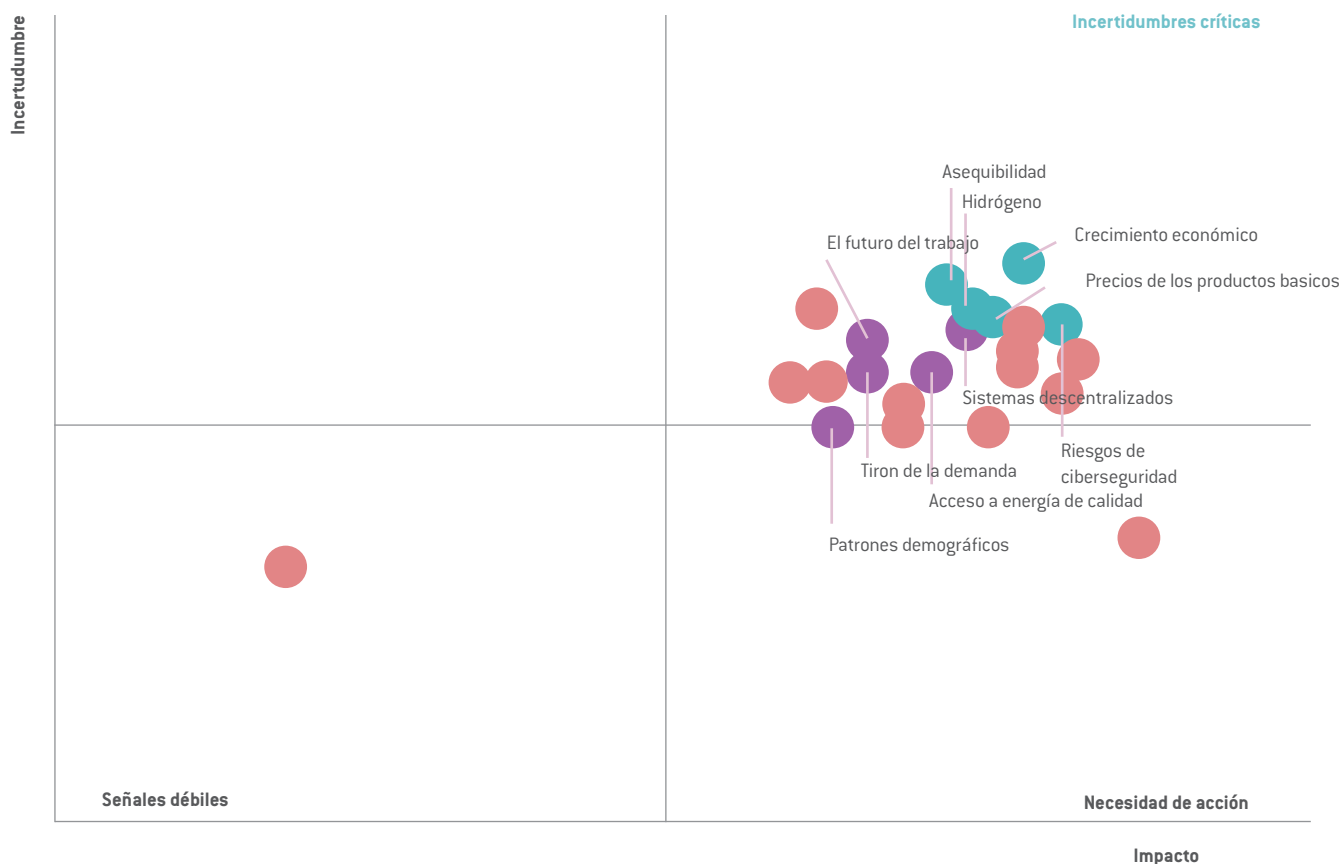
4

EL FUTURO DE LA ENERGÍA EN UN MUNDO CAMBIANTE

El panorama energético mundial está en constante evolución, impulsado por tres macro-tendencias clave: el cambio demográfico, los avances tecnológicos y la urgente necesidad de mitigar el cambio climático. Estas tendencias están transformando de manera profunda la producción, la distribución y el consumo de energía a nivel global. Para Colombia, comprender y adaptarse a estas dinámicas es crucial no solo para asegurar un futuro energético sostenible y competitivo, sino también para aprovechar las oportunidades económicas que surgen de este nuevo contexto.

El Monitor de Problemas Energéticos Mundiales 2022 para Colombia (Gráfica 5) ilustra claramente que los retos en el sector energético son numerosos y variados. Las incertidumbres críticas, como la asequibilidad de la energía, el crecimiento económico y los precios de los productos básicos, subrayan la necesidad urgente de que el país adopte una visión prospectiva que integre estas macro-tendencias globales. En esa medida, es esencial analizar cómo estas tendencias impactarán el sector energético nacional y desarrollar hojas de ruta y sendas que permitan mitigar riesgos y capitalizar oportunidades.

Gráfica 5. Monitor de Problemas Energéticos en Colombia



Fuente: World Energy Council (2022).



El análisis prospectivo es un paso previo fundamental para abordar cada una de estas macro tendencias en detalle. Colombia necesita identificar cuáles de estas tendencias globales tendrán un mayor impacto en su desarrollo energético y establecer estrategias específicas para enfrentarlas. La colaboración entre los sectores público y privado será clave para reducir incertidumbres y mejorar los indicadores de costos de capital y gastos operativos

y combustibles en proyectos energéticos, permitiendo al país no solo enfrentar los desafíos actuales, sino también posicionarse estratégicamente en el escenario energético global.

A continuación, se explorarán en detalle las tres macro tendencias que están moldeando el futuro energético global y cómo Colombia puede prepararse para aprovechar las oportunidades que presentan: el cambio demográfico, el cambio tecnológico y el cambio climático.



5

TENDENCIAS DEL FUTURO

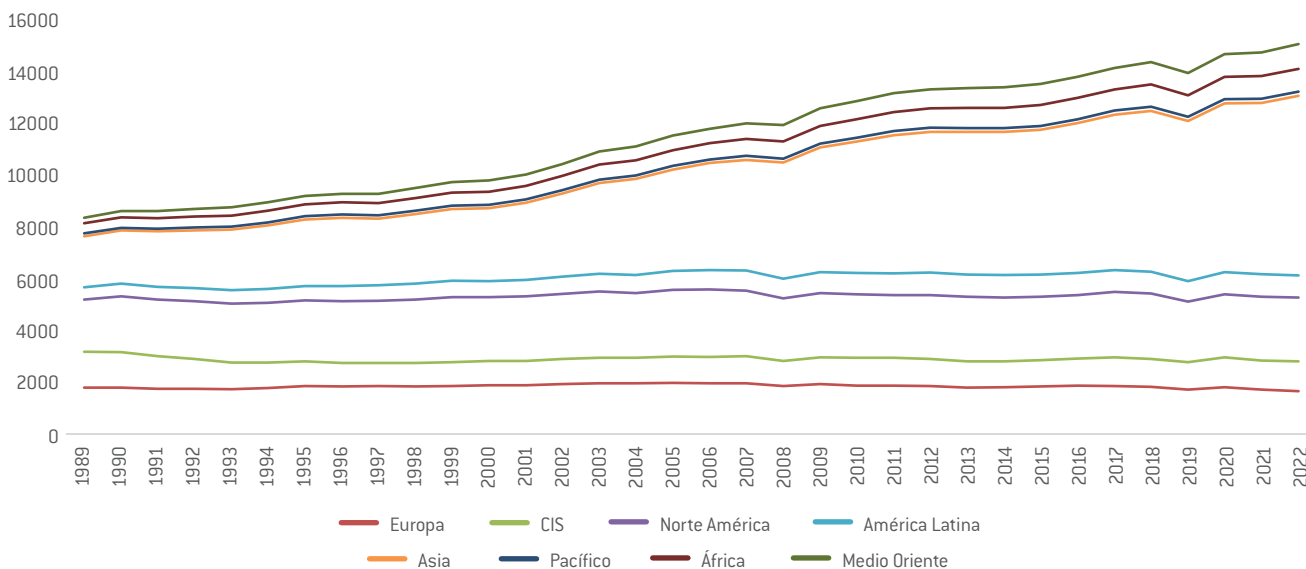
→ CAMBIO DEMOGRÁFICO Y CAMBIOS EN LOS PATRONES Y ESTILOS DE VIDA

El cambio demográfico está teniendo un impacto directo en el aumento de la demanda energética a nivel global. A medida que la tasa de natalidad disminuye y la proporción de personas mayores en la población aumenta, se generan nuevos patrones de consumo energético. Aunque inicialmente se podría suponer que una reducción en la población llevaría a un menor consumo de energía, lo cierto es que el envejecimiento de la población está contrarrestando esta tendencia. Las personas mayores tienden a consumir más energía en el hogar, principalmente para calefacción o refrigeración y cuidados de salud. Este grupo demográfico, aunque utiliza menos gasolina debido a su menor demanda por servicios de movilidad, requiere más energía para atender sus necesidades particulares.

Este fenómeno demográfico, se suma a una serie de factores como el cambio tecnológico, el crecimiento económico global y la urbanización, que están contribuyendo a un aumento acelerado en el consumo energético mundial. Según datos de Enerdata (2024), el consumo global de energía se expandió en un 2,2 % durante el año 2023, superando la tasa de crecimiento promedio anual del 1,5 % observada entre 2010 y 2019. Este incremento es especialmente notable en los sectores residencial, industrial y de transporte, impulsado por la mejora en los estándares de vida y el acceso más amplio a tecnologías modernas. A medida que más personas tienen acceso a electrodomésticos, tecnologías avanzadas y vehículos privados, la demanda de energía sigue creciendo, reflejando la interacción entre el cambio demográfico y el desarrollo económico.

Gráfica 6. Consumo energético total

La demanda por consumo energético total en el mundo es creciente. El crecimiento de la región se encuentra relacionado con un aumento en la demanda de energéticos.



Fuente: Enerdata (2024).

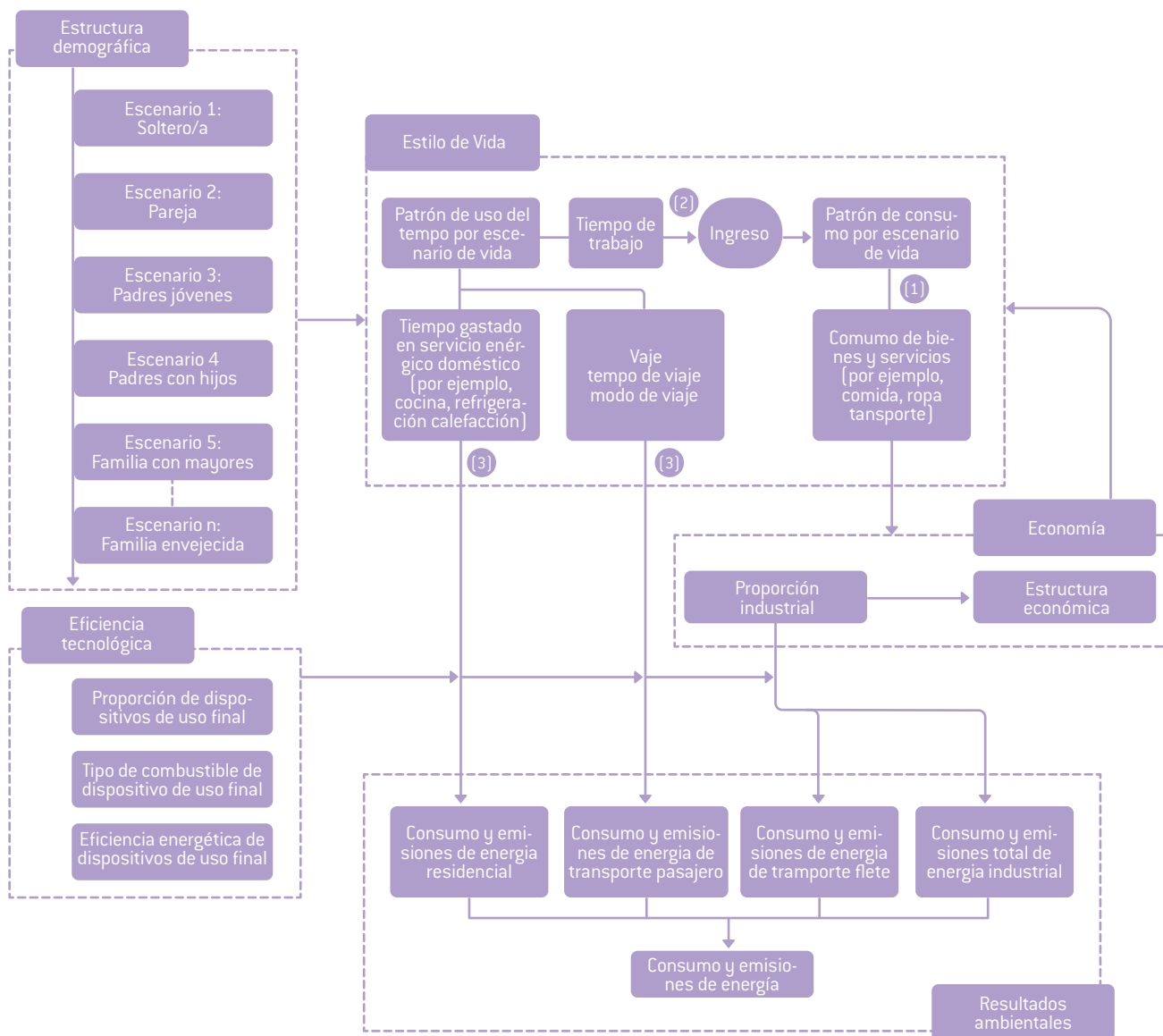


Utilizando proyecciones de consumo basadas en microdatos de encuestas, Kronenberg (2009) proyecta la demanda final de los hogares hasta 2030. Estos vectores de demanda final se ingresan en un modelo de insumo-producto ambiental para calcular la producción sectorial, el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los resultados indican que, hasta 2030,

el cambio demográfico incrementará la proporción de metano en las emisiones totales de GEI. Además, los cambios en la conformación de los hogares unipersonales y la urbanización están impulsando aún más la demanda de energía en todo el mundo, siendo estos otros determinantes clave en la modificación de los patrones de demanda.

Figura 1. Mecanismo analítico para la transición, estilo de vida y resultados ambientales

Mecanismo que permite el análisis técnico de distintos escenarios para los distintos estilos de vida.



Fuente: Yu et al. (2022).



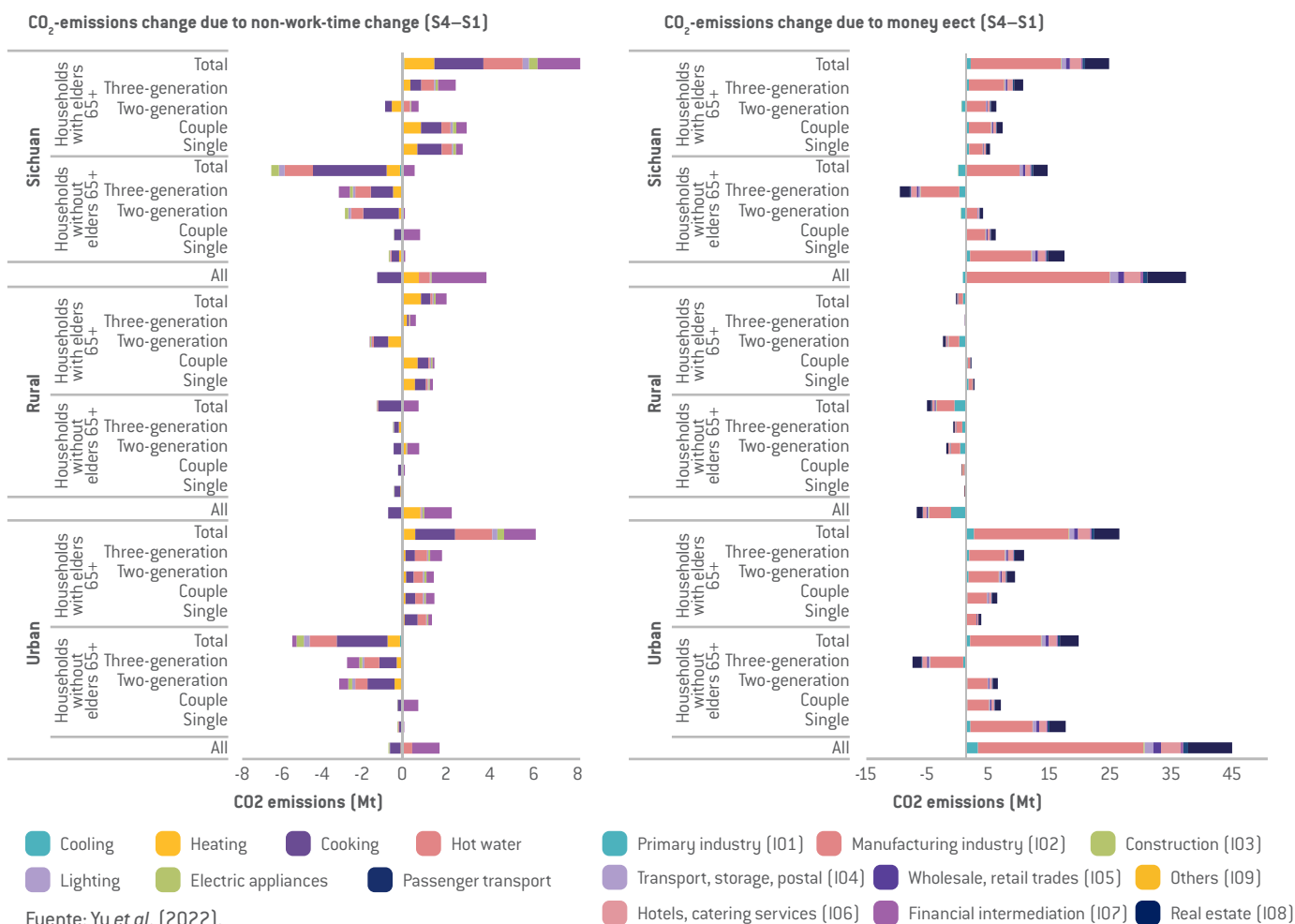
La Figura 1 sugiere que los cambios en la estructura demográfica y los estilos de vida, como el aumento de hogares pequeños y envejecidos, tienen un impacto significativo en el uso de energía y las emisiones. Estas transformaciones afectan tanto los patrones de consumo como la producción industrial, lo que a su vez

modifica la estructura económica y las emisiones ambientales. El análisis destaca la importancia de considerar la eficiencia tecnológica y la distribución del tiempo y el dinero en los hogares para entender completamente los impactos ambientales de las transiciones demográficas.

Gráfica 7. Tendencias en emisiones y consumo de energía de acuerdo con la composición de los hogares



Los hogares con personas mayores de 65 años consumen más energía y generan mayores emisiones de carbono.



Esta investigación muestra que los hogares con personas mayores de 65 años no solo consumen más energía, sino que también generan mayores emisiones de carbono. Este fenómeno se atribuye al incremento de los ingresos y a las transiciones demográficas asociadas con cambios en los estilos de vida. Utilizando el método *Extended Snapshot*, se exploraron las diferencias en las consecuencias de los cambios en los estilos de vida y las transiciones demográficas en tres escenarios distintos.

En el primer escenario, que contempla un cambio en el patrón de uso del tiempo sin una transición demográfica. Se observa un aumento significativo en la demanda final de energía, alcanzando 15,2 millones de toneladas equivalentes de carbón (Mtce), y en las emisiones de CO₂, que se elevan a 33,1 millones de toneladas (Mt). Estos incrementos se registran como resultado de modificaciones en el tiempo de trabajo y el consumo correspondiente.



En el segundo escenario, que considera una transición demográfica sin un cambio significativo en el estilo de vida, la demanda final de energía y las emisiones de CO₂ son solo ligeramente superiores (2,2 Mtce y 4,2 Mt, respectivamente) a las observadas en el primer escenario. Esto indica que las variaciones en los patrones de uso del tiempo y consumo entre diferentes etapas de la vida tienen un impacto limitado en la demanda de energía y las emisiones.

Finalmente, en el tercer escenario, que combina la transición demográfica con un cambio en el estilo de vida hacia hogares más pequeños y envejecidos, se produce un consumo *adicional* de 18 Mtce de energía primaria comparado con el primer escenario. Este aumento se debe principalmente al uso de carbón, petróleo, gas y biomasa. Como consecuencia, las emisiones de CO₂ se incrementan en 35 Mt, lo que representa el 4,3 % del total de emisiones proyectadas para 2030. Este incremento se atribuye a las variaciones en la asignación de tiempo y dinero por parte de la población en general.

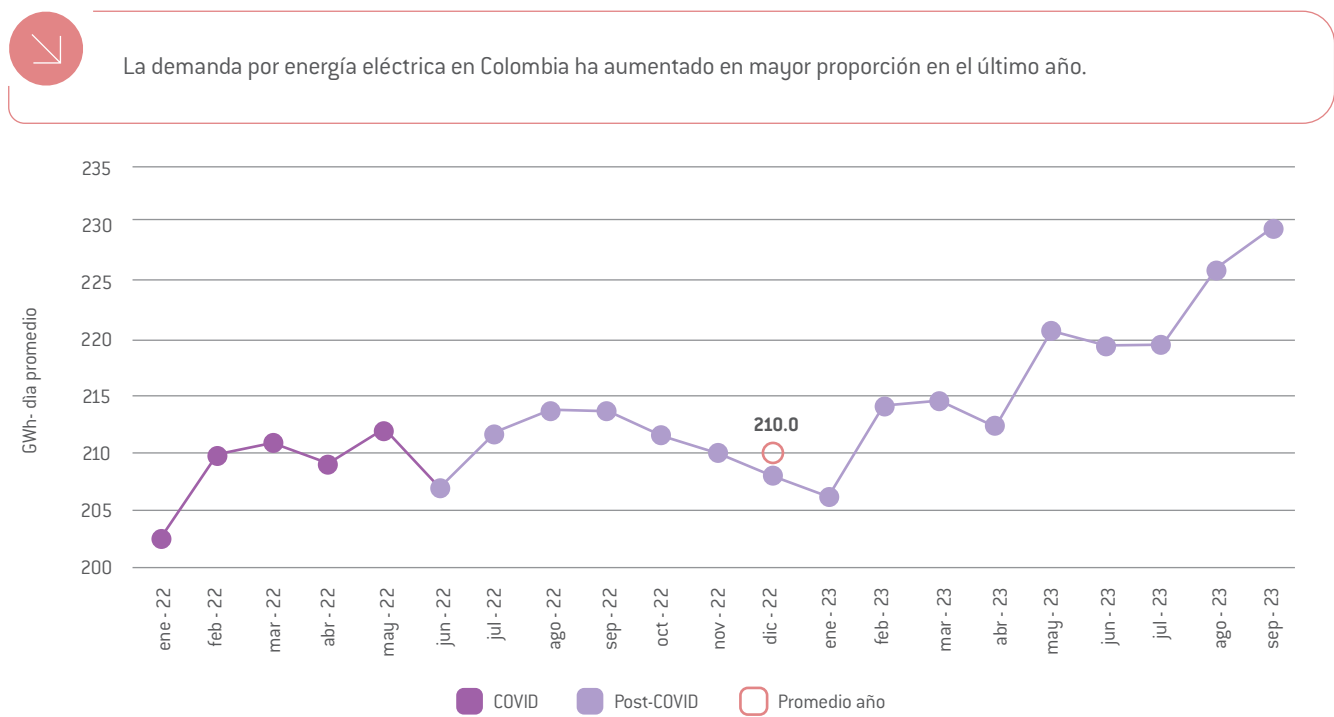
Este tipo de tendencia también marcan el camino de Colombia. Estadísticas recientes publicadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) muestran una significativa reducción en la tasa de natalidad, con una disminución del 14,6 % en los nacimientos durante los primeros meses de 2024 en comparación con el mismo periodo de 2023. Esta caída es más pronunciada que la disminución observada en 2023 y muy superior al promedio de los años previos, lo que refleja un cambio estructural

en la dinámica demográfica del país. Se estima por otra parte que la migración neta fue negativa en 2022 y 2023, con la salida de aproximadamente 550.000 y 450.000 personas, respectivamente [Otero-Cortés *et al.*, 2023].

Colombia podría enfrentar una disminución de su población antes de lo previsto, afectando su estructura demográfica. Mientras la reducción del tamaño de la población y el envejecimiento de ésta generan menos demanda en ciertos sectores, como se mostró previamente, esto incrementa la necesidad de energía en sectores como el residencial, transporte y del cuidado, debido a un mayor consumo de energía doméstica y necesidades de salud de una población más vulnerable.

La evolución de estas tendencias demográficas, junto con la continua migración, sugiere que la demanda de energía seguirá aumentando en áreas específicas, a pesar de una potencial reducción en la población total. Este crecimiento en la demanda energética es evidente en los datos recientes: la demanda promedio mensual de energía eléctrica en Colombia fue de 6.176 GWh-mes en 2021, 6.388 GWh-mes en 2022, y alcanzó 6.614 GWh-mes en los primeros nueve meses de 2023. Este incremento refleja un crecimiento promedio mensual del 3,8 % respecto al año anterior, lo que no solo indica una recuperación económica, sino también una mayor presión sobre la infraestructura energética del país debido a las dinámicas demográficas cambiantes.

Gráfica 8. Seguimiento a la demanda energética eléctrica del SIN



Fuente: UPME (2023b).



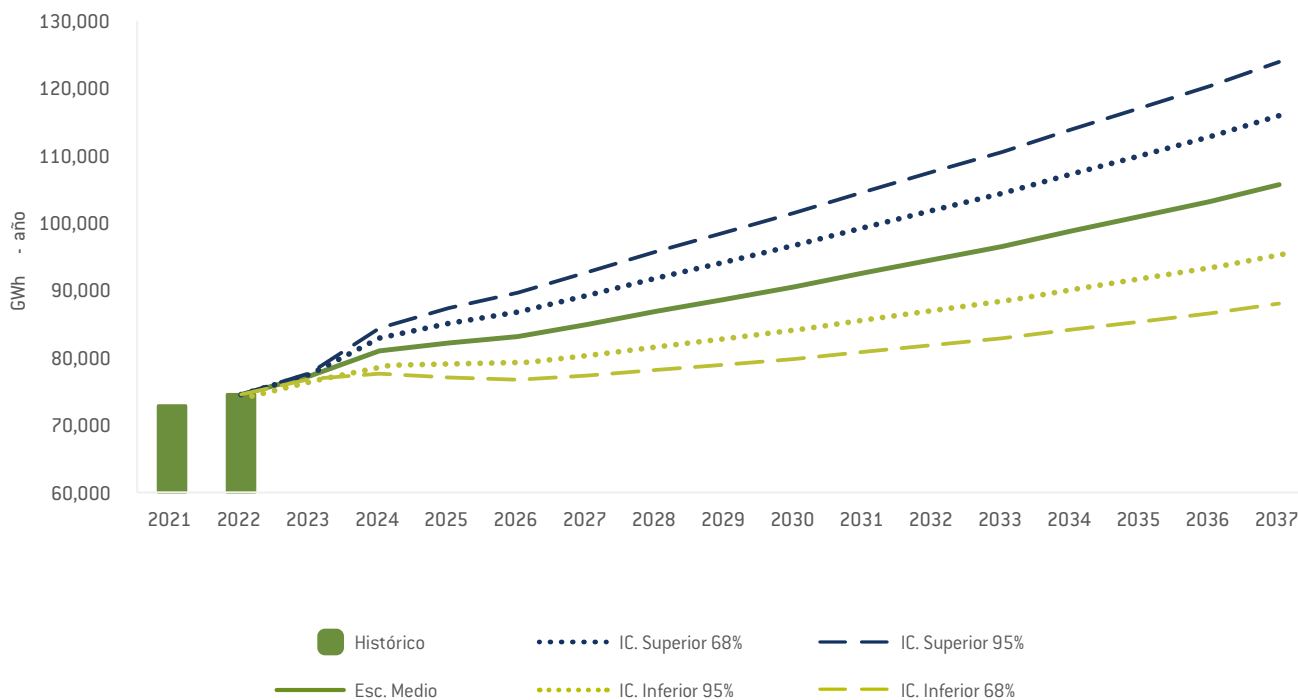
La Gráfica 9, por otra parte, muestra la proyección anual de la demanda de energía eléctrica en Colombia hasta 2037, con diferentes escenarios que reflejan la incertidumbre en las proyecciones. Si bien se esperan cambios en los patrones de consumo de energía a medida que la población envejezca y la tasa de natalidad disminuya, especialmente en el sector residencial, las estimaciones sugieren un aumento continuo en la demanda eléctrica. Esto como consecuencia de factores, como la urbanización, la migración hacia áreas urbanas, la mejora en los estándares de vida, entre otros.

En efecto, el envejecimiento de la población y el aumento de hogares unipersonales o con menos miembros podrían incrementar el consumo per cápita de energía. Esto, combinado con el crecimiento económico y la urbanización, contribuirá al incremento en la demanda proyectada en la Gráfica 9. Con ello se refuerza la necesidad de que Colombia planifique adecuadamente y optimice la operación de su infraestructura energética para asegurar un suministro adecuado que responda a las demandas futuras, derivadas tanto del cambio demográfico como de la expansión económica y tecnológica.

Gráfica 9. Proyección anual a la demanda energética eléctrica del SIN



La demanda por energía eléctrica en Colombia proyecta seguir una tendencia creciente.



Fuente: UPME (2023b).

Pensar en los retos que plantea el cambio demográfico es fundamental para el futuro energético de Colombia. Sin embargo, antes de abordar estos desafíos, es crucial garantizar que se cumplan las necesidades básicas de acceso a la energía para toda la población. Actualmente, regiones como las costas del Caribe y del Pacífico presentan una baja cobertura de energía, y la Orinoquía

y la Amazonía son las zonas que exhiben las menores tasas de cobertura. Para que el país pueda enfrentar los retos del cambio demográfico y aprovechar las oportunidades que este trae, primero debe garantizar que todos sus ciudadanos, independientemente de su ubicación, tengan acceso equitativo y asequible a la energía.

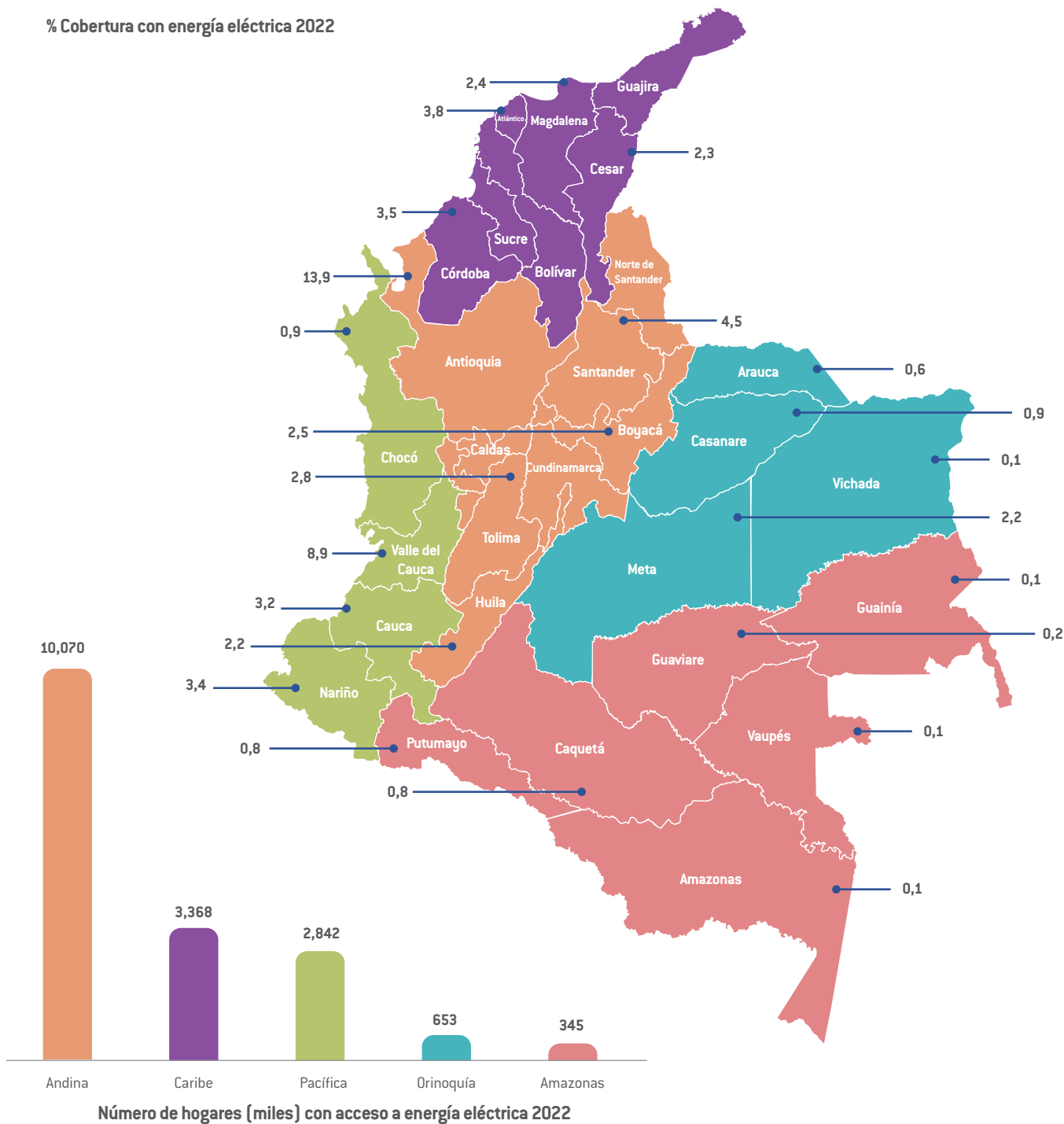


Mapa 1. Porcentaje de cobertura con energía eléctrica. Colombia, 2022



A pesar de que en agregado la cobertura del servicio de energía a nivel nacional es del 98 %, en acceso a electricidad aún hay retos en materia de cobertura, principalmente en zonas apartadas al centro del país.

% Cobertura con energía eléctrica 2022



Fuente: DANE (2022).



CAMBIO CLIMÁTICO Y LA SEGURIDAD ENERGÉTICA

Otro fenómeno que sin duda genera una afectación tanto en la demanda energética como en la oferta es el cambio climático. En términos de oferta, las variaciones en los patrones climáticos, como el incremento en la temperatura global y los cambios en los regímenes de precipitaciones, afectan la capacidad de generación de energía, especialmente en fuentes como la hidroeléctrica, que depende directamente de la disponibilidad hídrica. Además, los fenómenos climáticos extremos, cada vez más frecuentes e intensos, pueden interrumpir la producción de energía y dañar infraestructuras críticas, tanto de generación como de transmisión de energía, lo que puede resultar en cortes de energía y reducir la eficiencia del sistema en general, comprometiendo la estabilidad del suministro. Por otro lado, en cuanto a la demanda, el cambio climático altera los patrones de consumo energético, incrementando la demanda de energía para refrigeración en climas más cálidos o para calefacción en regiones que experimenten inviernos más severos. Estos cambios en la demanda requieren una planificación cuidadosa para asegurar que la oferta pueda satisfacer las nuevas necesidades.

El cambio climático está impulsando una tendencia global hacia la transición y consumo de energías renovables y la diversifica-

ción de las matrices energéticas. A medida que los recursos fósiles como el petróleo y sus derivados, el carbón y el gas natural se vuelven menos sostenibles, tanto por su impacto ambiental como por su agotamiento, países de todo el mundo, incluida Colombia, están priorizando la diversificación de sus matrices energéticas. Este enfoque debe partir de las deficiencias que estén afrontando en su matriz presente. En el caso de Colombia se debe atender prioritariamente la seguridad energética a largo plazo.

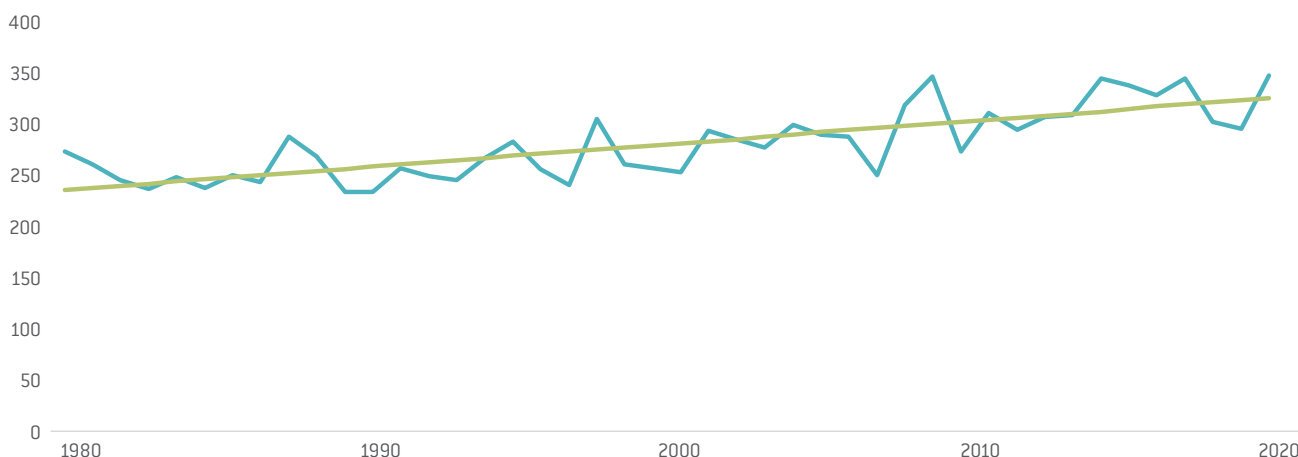
Sumado a los factores mencionados anteriormente como el cambio demográfico y cambios en los patrones y estilos de vida, la demanda de energía ha aumentado debido a la necesidad de mayor refrigeración y calefacción en temporadas de altas temperaturas. El indicador *Cooling Degree Days* (CDD), o grados día de enfriamiento, que mide la demanda de energía necesaria para enfriar un edificio calculando cuántos grados y durante cuántos días la temperatura exterior supera un umbral de referencia específico, muestra que la demanda de enfriamiento en temporadas de calor es cada vez más alta.

Esta clase de cambios requieren una planificación cuidadosa para asegurar que la oferta pueda satisfacer las nuevas necesidades.

Gráfica 10. Promedio de grados día de enfriamiento en las economías del G20, 1979-2022



La tasa promedio de grados de enfriamiento a partir de 1979 hasta el 2022 muestra una tendencia creciente y refleja la alta volatilidad de esta.



Fuente: IEAR (2023).

— Valor promedio en las economías del G20 — Regresión lineal



La buena noticia es que el consumo de energías renovables ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsado tanto por la urgencia de mitigar el cambio climático como por los avances tecnológicos que han hecho estas fuentes de energía más accesibles y competitivas.

Los mercados globales se han movido decididamente hacia la adopción de energías renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa, en respuesta a la creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles. Esta transición ha sido fomentada por políticas públicas que incentivan la inversión en infraestructura

renovable, así como por la creciente presión de los consumidores y empresas que buscan reducir su huella de carbono. Además, la disminución de los costos de tecnologías como los paneles solares y las turbinas eólicas ha hecho que la energía renovable sea una opción económicamente viable, acelerando su integración en las matrices energéticas de numerosos países. En este contexto, los mercados energéticos han evolucionado para acomodar un mayor porcentaje de energía renovable, lo que a su vez está transformando las dinámicas de precios, inversiones y generación de empleo en el sector energético global.

Gráfica 11. Consumo mundial de energía renovable, 2000-2023



La tasa promedio de grados de enfriamiento a partir de 1979 hasta el 2022 muestra una tendencia creciente y refleja la alta volatilidad de esta.



Fuente: Statista [2023].

Desde el año 2019, el despliegue de energía limpia se ha acelerado significativamente, impulsado en parte por los paquetes de estímulo gubernamentales implementados para responder a la pandemia de COVID-19 y la crisis energética de 2022. Además, varios Gobiernos en todo el mundo han promulgado políticas importantes para apoyar la adopción de tecnologías de energía limpia. Durante este periodo, el crecimiento de la energía limpia ha superado al de los combustibles fósiles en una proporción de dos a uno.

La producción de electricidad con bajas emisiones ha aumentado en aproximadamente 1.800 TWh, a pesar de las interrupciones en la energía hidroeléctrica debido a la sequía y las paradas forzadas en plantas nucleares, especialmente en Europa occidental. Por otro lado, la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles creció en menos de 850 TWh, lo cual es inferior al crecimiento del solo solar fotovoltaico, que aumentó en 910 TWh desde 2019, y también menor al incremento de la energía eólica, que creció en 885 TWh.



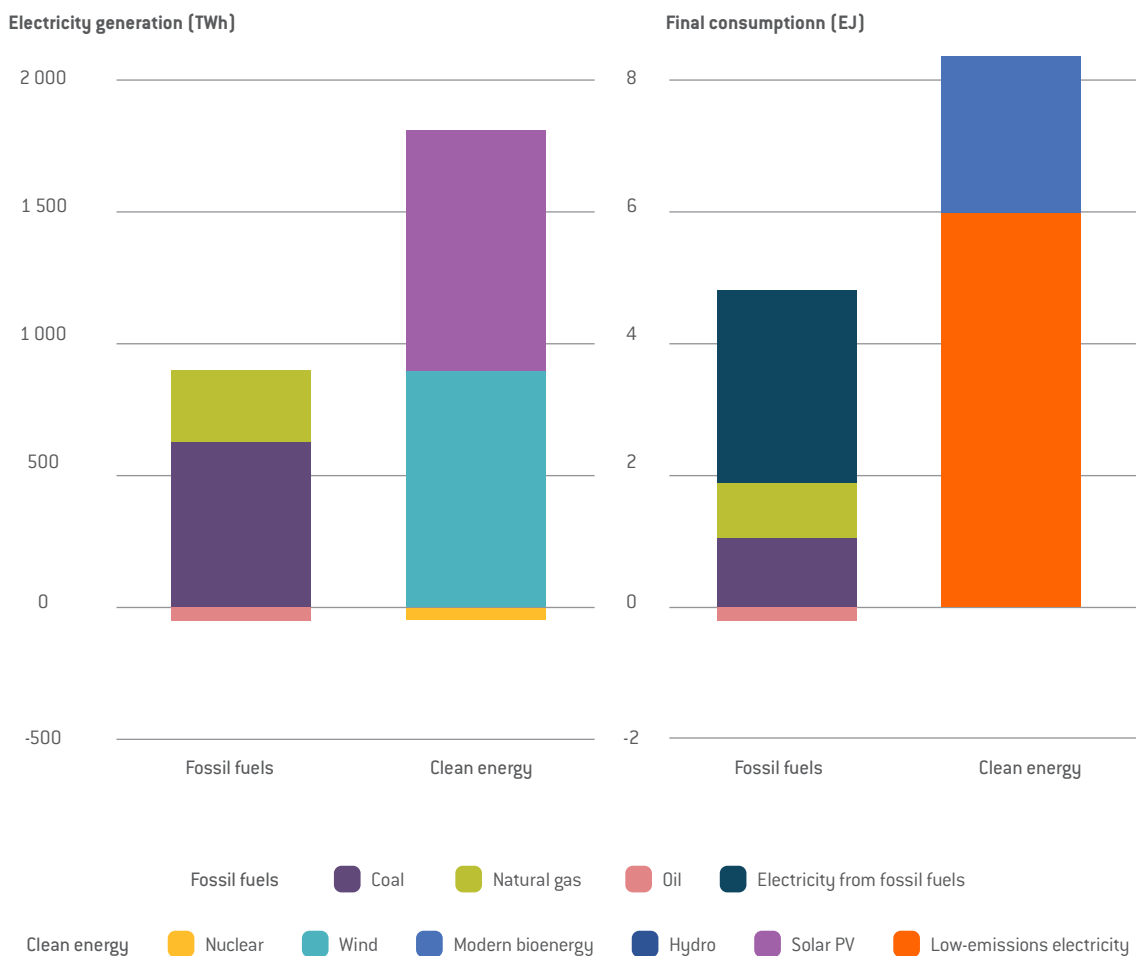
En los usos finales, la tendencia es similar. El aumento de la electrificación y el crecimiento del suministro de electricidad limpia han llevado a que el consumo de electricidad limpia haya crecido en alrededor de 6 exajulios (EJ), mientras que los biocombustibles modernos han crecido en aproximadamente 2,3 EJ. Esto representa aproximadamente el doble del crecimiento en el consumo de energía basado en combustibles fósiles, que incluye tanto la electricidad generada a partir de estos combustibles como el consumo directo de combustibles fósiles en los usos finales (International Energy Agency [IEA], 2023).

En el ámbito de los mercados energéticos, los precios transmiten señales claras que favorecen las inversiones en energías renovables. Esta tendencia hacia la generación de nuevas energías limpias se ha vuelto cada vez más marcada, reflejando un cambio global en busca de opciones más sostenibles a futuro. Si bien es crucial continuar promoviendo esta transición, no parece ser un desafío tan arduo en el actual clima económico, dado que tanto la demanda del mercado como las preferencias de inversión ya se inclinan hacia las tecnologías renovables.

Gráfica 12. Consumo mundial de energía renovable, 2019-2023



A nivel mundial, las inversiones en tecnologías de energía baja en carbono alcanzaron un récord de USD 1,3 billones en 2022, lo que representa un aumento del 19 % con respecto a 2021 y un incremento del 70 % respecto a los niveles previos a la pandemia en 2019.



Fuente: IEA (2024).



A nivel mundial, las inversiones en tecnologías de energía baja en carbono alcanzaron un récord de USD 1,3 billones en 2022, lo que representa un aumento del 19 % con respecto a 2021 y un incremento del 70 % respecto a los niveles previos a la pandemia en 2019 (WEF, 2023). Este crecimiento refleja la madurez y disponibilidad de tecnologías renovables, como la solar y la eólica.

Este cambio también está ejerciendo una presión significativa sobre la industria para reducir su huella de carbono y adoptar prácticas más sostenibles. La demanda energética industrial está siendo influenciada por un cambio hacia el uso de energías renovables, especialmente entre las empresas que buscan exportar sus productos a mercados internacionales cada vez más exigentes en términos de sostenibilidad.

En el caso particular de Colombia, según el Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052 (UPME, 2024a), muestra que durante el 2022, el 75,2 % de la demanda energética total del país fue cubierta por petróleo, gas natural y carbón. La matriz eléctrica es mucho más limpia, pues el agua representa alrededor del 68 % de las fuentes de la electricidad generada. No obstante, esta alta dependencia de los recursos hídricos genera las vulnerabilidades ya expuestas.

La energía solar aporta un 1,7 %, esto reflejan que, si bien hay esfuerzos por diversificar la matriz energética, la adopción de algunas energías renovables, como la solar, todavía se encuentra en una fase incipiente. No es suficiente con incorporar energías renovables a la matriz energética; para que estas puedan cumplir

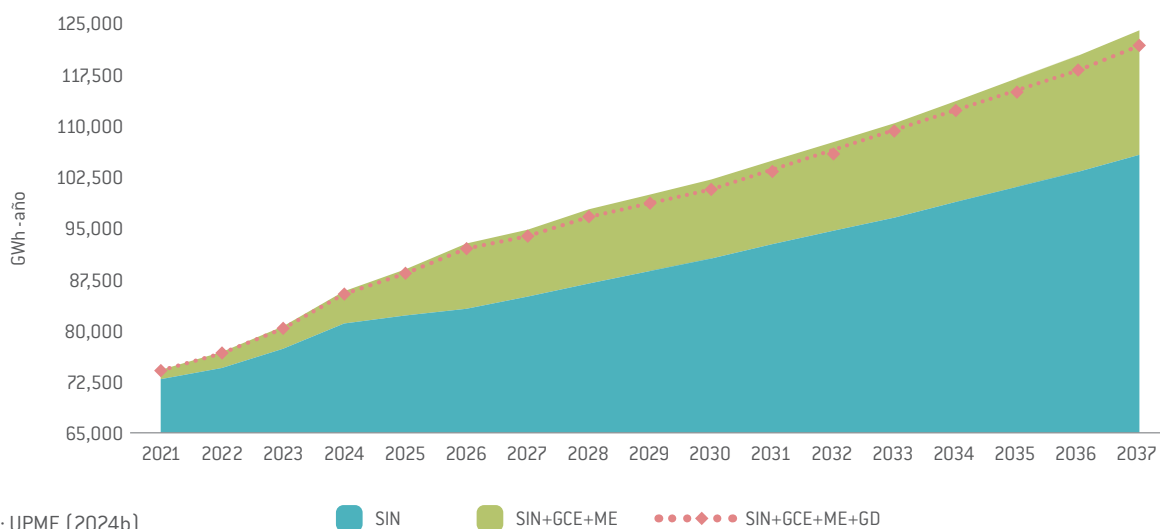
su papel en la transición energética, es crucial contar con una infraestructura robusta que permita su integración efectiva. La intermitencia de fuentes como la solar y la eólica requiere no solo de tecnologías avanzadas para el almacenamiento de energía, sino también de redes eléctricas modernas y flexibles que puedan gestionar la variabilidad en la generación. Sin una red adecuada y sistemas de respaldo eficientes, la incorporación de energías limpias no solo será limitada, sino que podría comprometer la estabilidad del sistema. Por tanto, la inversión en infraestructura energética, que incluya líneas de transmisión, sistemas de almacenamiento y tecnologías de monitoreo, es fundamental para que las renovables se integren plenamente y Colombia pueda avanzar hacia una transición energética sostenible y segura.

En el primer trimestre de 2023, la demanda de energía eléctrica mostró una tasa de crecimiento promedio mensual del 1,9 % en comparación con el mismo periodo del año anterior (UPME, 2024b). Según informes de entidades internacionales como la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por su sigla en inglés) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO por su sigla en inglés), esto se debe a que, a partir de mayo de 2023, se observó un aumento en la temperatura en las regiones oceánicas (National Center for Environment Information [NCEI], 2023). El incremento de la temperatura desde ese mes afectó la demanda de energía eléctrica, que mostró un crecimiento promedio mensual del 3,9 % en el segundo trimestre del año y del 5,6 % en el tercer trimestre.

Gráfica 13. Proyección anual de demanda de energía eléctrica (GWh/año)



En el primer trimestre de 2023, la demanda de energía eléctrica mostró una tasa de crecimiento promedio mensual del 1,9 % en comparación con el mismo periodo del año anterior.



Fuente: UPME (2024b).



La reciente crisis energética en Colombia de 2024, influenciada por el fenómeno de El Niño, hizo que las reservas hídricas a nivel nacional llegaran al 29 % en marzo del mismo año, situándolas apenas dos puntos porcentuales (pp) por encima del umbral crítico. Esta situación es particularmente alarmante dada la ya señalada dependencia hídrica del país. La consecuente reducción en la capacidad de generación de las represas, combinada con un aumento significativo del 7,5 % en la demanda de electricidad durante marzo —impulsado por altas temperaturas y un mayor uso de sistemas de

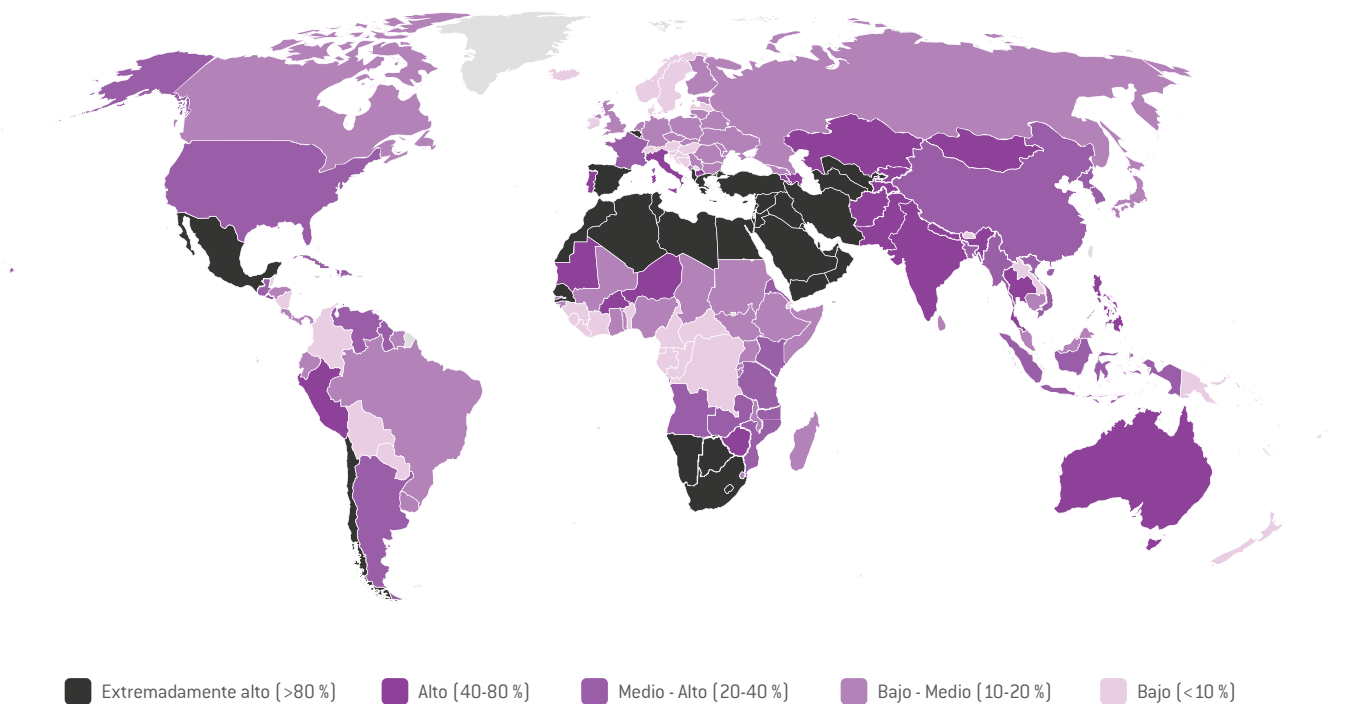
refrigeración—, visibilizaron el riesgo energético en el que se encuentra el país.

En este sentido, es preciso considerar parámetros como el estrés hídrico: un indicador de la competencia por los recursos hídricos que se define informalmente como la relación entre la demanda de agua por parte de la sociedad humana y el agua disponible. Las proyecciones a 2080 de esta variable muestran cómo se espera que esta competencia evolucione en el futuro, bajo un escenario tendencial en el cual las temperaturas aumentan entre 2,8 °C y 4,6 °C para el año 2100 (conocido como *business as usual*).

Mapa 2. Escenario para el 2080 de estrés hídrico en el mundo



Las proyecciones a 2080 muestran cómo se espera que el estrés hídrico varíe a nivel mundial, bajo un escenario tendencial en el cual las temperaturas aumentan entre 2,8 °C y 4,6 °C para el año 2100.



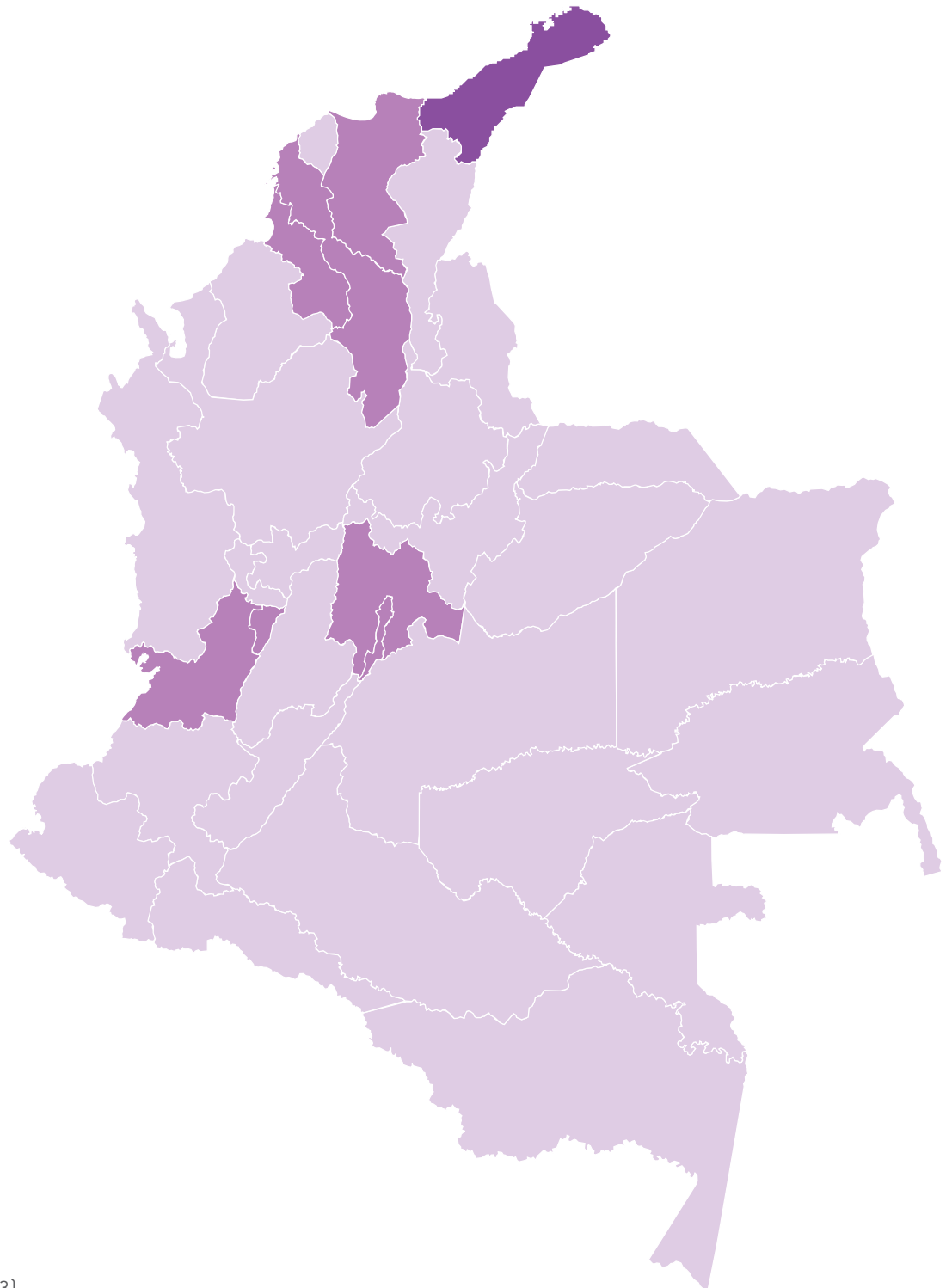
Fuente: Kuzma *et al.* (2023).



Mapa 3. Escenario para el 2080 de estrés hídrico en Colombia



La distribución del estrés hídrico en el país es desigual. Algunas regiones en azul claro y azul oscuro, como La Guajira, enfrentan un estrés hídrico bajo-medio (10-20 %) y medio-alto (20-40 %), respectivamente.



- Bajo (<10 %)
- Bajo - Medio (10-20 %)
- Medio - Alto (20-40 %)

Fuente: Kuzma *et al.* (2023).



El Mapa 3 muestra las proyecciones de este fenómeno a nivel departamental en Colombia para el año 2080, utilizando una escala de colores que representa distintos niveles de estrés hídrico. Los departamentos en gris, que corresponden a la mayoría, presentan un estrés hídrico bajo (<10 %), lo que sugiere una menor competencia por los recursos hídricos en el futuro. Sin embargo, algunas regiones en azul claro y azul oscuro, como La Guajira, enfrentan un estrés hídrico bajo-medio (10-20 %) y medio-alto (20-40 %), respectivamente, lo que implica una mayor presión sobre los recursos disponibles.

En suma, las proyecciones reflejan una distribución desigual del estrés hídrico en el país, donde algunas regiones deberán implementar estrategias de gestión del agua más estrictas para mitigar sus impactos y asegurar un suministro sostenible. Esto incluye políticas que mejoren la infraestructura hídrica, promuevan prácticas industriales y agrícolas sostenibles y protejan los recursos hídricos, especialmente en las zonas más vulnerables. Además, la adaptación al cambio climático es fundamental, ya que el aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación pueden agravar la situación. Colombia debe prepararse con medidas de mitigación y adaptación para enfrentar estos desafíos futuros.

Contar con una matriz poco diversificada incurre en problemas, y Texas es un ejemplo de ello. Previo al 2023, esta región se constituyó como el líder en capacidad solar en Estados Unidos, donde su capacidad instalada triplicó a la situada en California (Electric Reliability Council of Texas [Ercot], 2023). A pesar de que se espera que para el 20230 la demanda máxima alcance 118 gigavatios, es decir, más del tercio que en la actualidad (Bloomberg, s. f.), esta no es suficiente para cubrir las proyecciones de demanda, en especial para las horas pico.

En efecto, la experiencia de Texas, donde la falta de confiabilidad llevó a crisis energéticas severas, subraya la importancia de mantener una matriz eléctrica que no solo sea diversa y moderna, sino también robusta y capaz de soportar contingencias climáticas y operacionales. En ese sentido, Colombia cuenta con la ventaja de poseer una matriz complementaria, donde las energías renovables no convencionales pueden integrarse eficazmente con las fuentes tradicionales, como la hidroeléctrica, el gas y los hidrocarburos, garantizando así un suministro continuo y estable. De tal forma se destaca el giro significativo que ha dado el país en su política pública al apostar por energías renovables como la eólica y la solar. Este cambio estratégico ha permitido la entrada de estas fuentes en el mercado energético colombiano, consolidando la primera subasta de energías renovables y demostrando el interés de todos los actores en participar en esta transición.

De hecho, Colombia se ha destacado como uno de los líderes del mundo en transición energética, ocupando la cuarta posición a nivel global en el *ranking* de Bloomberg durante el 2022 y el puesto 39 en el índice de transición energética del Foro Económico Mundial (WEF por su sigla en inglés) de 2023. Este posicionamiento se debe a los avances normativos del país con el fin de incentivar el desarrollo de las energías renovables. Un ejemplo de estas medidas es la Política de Transición Energética, establecida en el documento CONPES 4075, con el fin de acelerar la integración de energía renovable en la matriz energética, junto con la Ley 1715 de 2014, la Ley 2099 del 2021 sobre transición energética y las subastas de energías renovables. Así, en 2021, las energías renovables llegaron a representar el 25 % del suministro total de energía y el 29 % del consumo final en Colombia. Este crecimiento ha permitido aumentar la capacidad efectiva neta del SIN. Sin embargo, estas victorias quizás bajaron el volumen de los rezagos que traemos en múltiples proyectos de todo tipo y que hoy amenazan esta transición.

En síntesis, para abordar los desafíos que representa el cambio climático y asegurar un suministro energético sostenible, será crucial que Colombia diversifique su matriz eléctrica, promueva la eficiencia energética y adopte tecnologías avanzadas de gestión y almacenamiento de energía. No obstante, es fundamental que este avance se realice a una velocidad que mantenga la estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico, un aspecto crucial que ha sido pilar del éxito energético del país durante décadas.

Cabe anotar que diversificar la matriz energética no debe entenderse únicamente como una expansión hacia nuevas fuentes de energía, sino también como un fortalecimiento de las formas tradicionales de generación. La diversificación, en este sentido, no implica un conflicto entre lo nuevo y lo tradicional, sino una armonización de ambos, asegurando así la estabilidad y la confianza en el suministro energético. Este equilibrio es esencial para una transición energética sostenible.

Los retrasos en la activación de nuevos proyectos energéticos y la adjudicación de licitaciones y desarrollo de subastas, incluidas las centrales térmicas que se han puesto en funcionamiento como medida de emergencia en el país tras la pasada crisis energética, han resultado insuficientes y abren la puerta a la necesidad de fortalecimiento del sector, con énfasis en la generación. En este portafolio es necesario incluir el almacenamiento, no solo en baterías, sino en recursos hídricos con reservas multianuales y con esquemas de bombeo, equivalentes al almacenamiento.

Un ejemplo ilustrativo de los desafíos que se presentan al realizar estas transiciones puede ser el de Gran Bretaña, donde la transición hacia energías renovables ha planteado cuestiones críticas respecto



a la confiabilidad de la red. La intermitencia de fuentes como la solar y la eólica, que dependen de condiciones climáticas, requiere soluciones innovadoras para asegurar un suministro constante y fiable. De tal forma, dicha región ha enfrentado situaciones donde la falta de viento o de sol ha disminuido la producción de energía, mientras que la demanda se mantenía alta, lo que ha llevado a la necesidad de mantener operativas centrales de gas o carbón como respaldo, evidenciando la complejidad de gestionar una transición energética sin comprometer la estabilidad del sistema.

Este escenario subraya la importancia de desarrollar infraestructura de almacenamiento de energía avanzada y de mejorar las redes para gestionar mejor las fluctuaciones de las energías renovables. Además, resalta la necesidad de políticas y tecnologías que puedan mitigar la incertidumbre inherente a estas fuentes de energía, garantizando así que el avance hacia un futuro más verde no comprometa la seguridad energética.

Para prevenir estos percances, la expansión energética y la incorporación de nuevas energías deben realizarse sin descuidar las garantías básicas de seguridad energética. Es necesario fortalecer a

las instituciones encargadas de la gestión del sector energético para poder implementar políticas efectivas que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia del sistema energético frente a los impactos del cambio climático. En este contexto debe integrarse la gestión de la demanda, que aporta flexibilidad, optimización y eficiencia.

La Gráfica 14 ilustra cómo la combinación del SIN, la generación de ciclo económico y las medidas de eficiencia contribuyen a una tendencia al alza en la generación de energía. Esta tendencia se intensifica aún más cuando se añade la generación distribuida al modelo, demostrando que la integración de diversas tecnologías y estrategias no solo amplía la capacidad de generación energética, sino que también mejora la prevención y la planificación en el sector.

Este avance muestra claramente que el esfuerzo conjunto entre diferentes actores y tecnologías es clave para asegurar un suministro energético robusto y sostenible. Además, es crucial fortalecer el marco institucional y regulatorio para garantizar que la transición energética no solo sea efectiva, sino también sostenible y equitativa, asegurando así un futuro energético que responda tanto a las necesidades presentes como a los desafíos futuros.

CAMBIO TECNOLÓGICO

A pesar de que las macrotendencias del cambio climático y el cambio demográfico presentan desafíos directos en la producción, el consumo y la transmisión de energía, el cambio tecnológico emerge como una solución clave para enfrentar estos retos. Mientras que el cambio climático exige una transición urgente hacia fuentes de energía más limpias y el cambio demográfico modifica los patrones de demanda, el avance tecnológico ofrece herramientas innovadoras que pueden mejorar la eficiencia, diversificar la matriz energética, aumentar la oferta y la confiabilidad de nuevos insumos, fortalecer la resiliencia del sistema, influyendo incluso de manera controlada en los patrones de consumo. Por ende, esta tendencia debe ser vista como una oportunidad que Colombia debe aprovechar plenamente para construir un futuro energético más sostenible, competitivo y adaptado a las realidades globales que le permitan a la vez crecer como país.

Dentro de la macrotendencia del cambio tecnológico, se observa una tendencia global a la baja en la relación energía-PIB, que

se proyecta continuará hasta 2050, según el World Energy Council. Este fenómeno, lejos de ser negativo, es un reflejo positivo de cómo la tecnología está incrementando la eficiencia energética a nivel global. La reducción de la intensidad energética —la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de PIB— indica que las economías están siendo más productivas y eficientes en el uso de recursos energéticos.

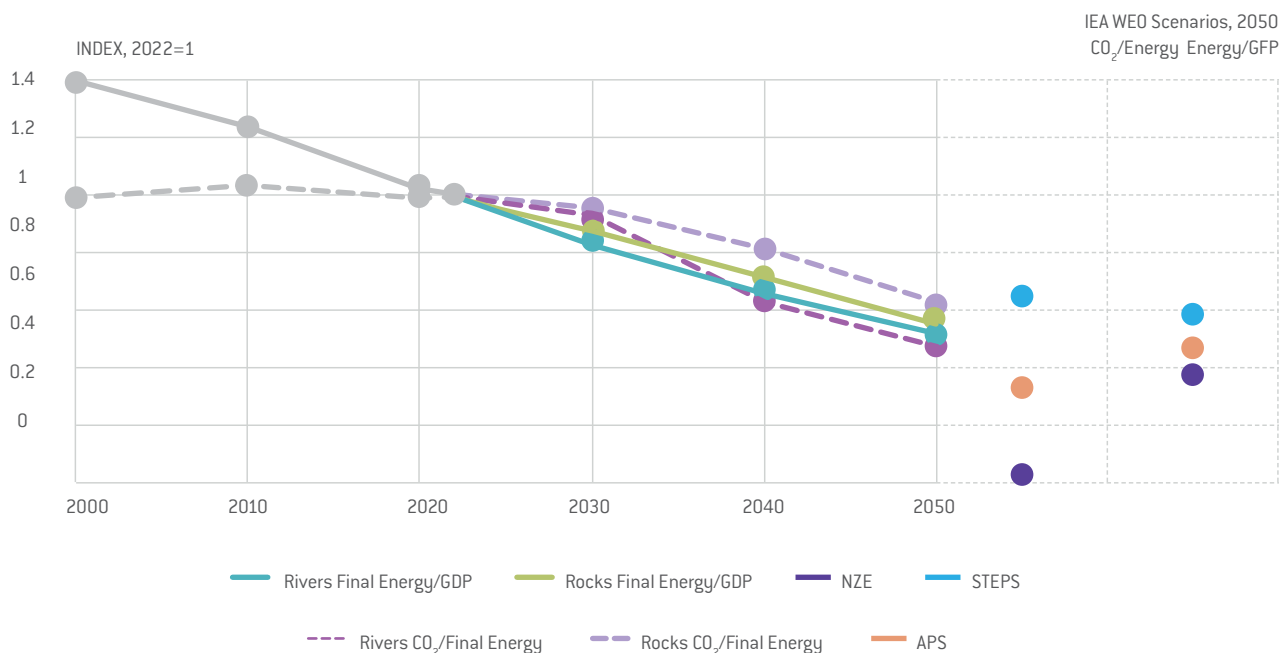
Gran parte de este cambio se debe a que el crecimiento económico mundial está ocurriendo principalmente en economías industrializadas, donde los sectores de servicios, menos intensivos en consumo energético, contribuyen cada vez más al PIB. Además, la evolución tecnológica ha permitido una mayor eficiencia en el uso de la energía, reduciendo la cantidad necesaria para generar crecimiento económico. Este cambio estructural demuestra cómo la innovación y la tecnología están transformando la forma en que las economías consumen energía, facilitando un desarrollo más sostenible y menos dependiente de fuentes energéticas tradicionales.



Gráfica 14. Descomposición de la reducción de emisiones y consumo de energía



La descomposición de las reducciones de emisiones en diferentes escenarios proyectados para 2050 muestra el aumento en la eficiencia energética medida como energía por PIB, mostrando una tendencia a la baja en emisiones de CO₂ igualmente.



Fuente: World Energy Council 2024 Scenario Refresh.

La Gráfica 14 muestra la descomposición de las reducciones de emisiones en diferentes escenarios proyectados para 2050, destacando la relación entre las emisiones de CO₂ por unidad de energía y la eficiencia energética medida como energía por PIB. Se observa una disminución constante en ambas métricas a lo largo del tiempo, especialmente en los escenarios NZE (Net Zero Emissions) y STEPS, lo que sugiere que la mejora en la eficiencia energética y la reducción de emisiones son alcanzables mediante cambios estratégicos en el consumo de energía y la tecnología.

A nivel mundial, las soluciones de almacenamiento de energía, como las baterías de litio, se están consolidando como una opción cada vez más viable para gestionar el exceso de producción de energías renovables, especialmente durante periodos de baja demanda. Países como Alemania, Estados Unidos y China ya están invirtiendo masivamente en instalaciones de almacenamiento a

gran escala para estabilizar sus redes eléctricas y mitigar la intermitencia de las fuentes solares y eólicas. Sin embargo, para que estos sistemas realmente tengan un impacto significativo en la estabilidad de la red, es crucial desarrollarlos a una escala mucho mayor, capaz de responder eficazmente a las fluctuaciones de la demanda y la generación.

La capacidad de almacenar y redistribuir energía de manera eficiente es esencial para mantener un suministro energético constante y fiable, sobre todo cuando las fuentes renovables, como se señaló, no pueden generar electricidad debido a condiciones meteorológicas adversas o fluctuantes. Además de las baterías de litio, otras tecnologías, como los sistemas de bombeo hidroeléctrico, han demostrado ser soluciones eficaces en países como Suiza y Japón, donde los recursos hídricos se utilizan para almacenar energía en momentos de baja demanda.



El desarrollo y la implementación de redes inteligentes (*smart grids*) son fundamentales para una gestión eficiente y flexible del sistema energético. Estas tecnologías permiten optimizar la distribución de energía y mejorar la capacidad de la red para integrar fuentes renovables como la solar y la eólica, que son intermitentes por naturaleza. Las *smart grids* no solo facilitan la adaptación a la variabilidad de estas fuentes, sino que también contribuyen significativamente a la estabilidad y resiliencia del sistema eléctrico.

Sin embargo, para que estas mejoras tecnológicas tengan un impacto real y sostenible, es crucial que vayan acompañadas de inversiones robustas en infraestructuras básicas. Solo así se podrá garantizar que la red eléctrica pueda manejar el aumento en la capacidad de generación renovable sin comprometer la calidad del servicio ni la continuidad del suministro. Es necesario priorizar la modernización de la infraestructura energética y asegurar así que Colombia cuente con una red preparada para integrar mayores volúmenes de energía renovable, evitando problemas de congestión o fallas en la distribución.

Ahora, si bien la creciente digitalización del sector energético mejora la eficiencia, también aumenta la exposición a ataques cibernéticos que podrían comprometer infraestructuras críticas. Por lo tanto, una prioridad ineludible en este contexto es fortalecer la ciberseguridad. Esta tarea debe ser abordada desde un enfoque integrado y multifacético, que incluya la capacitación especializada de los equipos encargados, el establecimiento de rigurosos protocolos de seguridad y una colaboración internacional efectiva. Asimismo, la gestión de información y el uso de inteligencia artificial serán claves para mejorar la seguridad y eficiencia del sistema, otorgando valor agregado a los datos energéticos y permitiendo una respuesta más rápida y precisa ante posibles amenazas.

Como se mencionó, la tendencia hacia la digitalización y la implementación de redes inteligentes es una realidad global. Alinear a Colombia con estos avances es fundamental para aprovechar las oportunidades que ofrece la transición energética y posicionarse competitivamente en el escenario internacional. En ese sentido, es preciso advertir que el país no es un productor significativo de los minerales críticos para el desarrollo de tecnologías de almacenamiento como cobre, litio o níquel, a diferencia de otros de la región como Chile y Argentina. En este aspecto, Colombia se encuentra en una posición de dependencia y de desventaja competitiva dentro del continente, al depender de la importación de estos insumos productivos clave para la transición energética. Asimismo, gran

parte de la cadena de suministro y la mano de obra especializada para la fabricación de baterías y otros componentes tecnológicos está concentrada en China, lo que agrava la vulnerabilidad de Colombia frente a posibles tensiones geopolíticas, fluctuaciones en los mercados internacionales y restricciones de acceso a tecnologías clave.

Una ventana de oportunidad en este contexto es la exploración y explotación responsable de minerales estratégicos que son esenciales para la transición energética global, considerando que la demanda mundial de estos insumos clave está en aumento, impulsada por la fabricación de tecnologías limpias como paneles solares, turbinas eólicas y baterías de almacenamiento de energía. Para ello, sería preciso implementar políticas que fomenten la inversión en infraestructura y desarrollen estrategias para asegurar el acceso a los minerales necesarios, ya sea mediante alianzas estratégicas o diversificación de fuentes de suministro. Por ejemplo, si bien según la Agencia Nacional de Minería no existían títulos vigentes para el mineral de litio en Colombia hasta 2022, se han hallado rocas y ambientes geológicos favorables para la acumulación de este recurso en regiones como Paipa, Tibasosa, Firavitoba y Toca (Minenergía, s. f.).

Además de las baterías de litio, los sistemas de bombeo hidroeléctrico son una alternativa que ha sido exitosa en otros países, como Suiza y Japón, para almacenar el exceso de energía en periodos de baja demanda. Colombia, con su abundante disponibilidad de recursos hídricos, está bien posicionada para explorar esta opción, aunque ello requeriría inversiones sustanciales en infraestructura. Entre las opciones de almacenamiento, la construcción de sistemas de bombeo puede ser una alternativa aprovechando los recursos hídricos del país, lo cual requeriría importantes desarrollos de infraestructura.

En Colombia, persisten desafíos considerables para implementar estas tecnologías a gran escala. Tal como se mencionó en la sección de retos actuales de Colombia, hoy en día, las únicas tecnologías que pueden garantizar energía firme —es decir, disponible en cualquier momento y capaz de responder a la demanda en tiempo real— son las hidroeléctricas con embalse y las plantas térmicas que utilizan gas o carbón. Estas fuentes han sido —y continúan siendo— la columna vertebral de la matriz energética del país, lo que plantea la necesidad de soluciones alternativas y complementarias que equilibren el sistema energético y permitan mantener la confiabilidad de este.



RECOMENDACIONES

Para asegurar que Colombia transite hacia un futuro energético competitivo y sostenible, se recomiendan las siguientes acciones

prioritarias a corto plazo, basadas en las tendencias y necesidades identificadas.



Nueva recomendación



Recomendación relacionada



Recomendación priorizada



Diversificar la matriz de generación energética

Es esencial fomentar la inversión y el desarrollo de energías renovables como la solar, la eólica y la geotérmica. Diversificar de esta forma la matriz energética permitirá reducir la dependencia de fuentes tradicionales y aumentar la sosteni-

bilidad y resiliencia del sistema energético colombiano. Esto requiere desarrollar además el SIN porque, sin crecimiento en la capacidad de transmisión y conexión, sería inocuo el desarrollo de generación.



Actualizar y fortalecer el marco regulatorio del sector energético

Un marco regulatorio sólido y moderno es fundamental para atraer inversiones, garantizar la transparencia y promover la adopción de tecnologías innovadoras que impulsen la transición energética. De igual forma, para implementar políticas que fomenten la inversión en energías, se requieren señales de precio para la oferta y para la

demanda, y programas de financiación e impulso para recambios tecnológicos en los procesos industriales. Revisar la pertinencia de los elementos regulatorios con los que contamos es importante para ver si son congruentes con lo que una verdadera planeación de largo plazo nos exige.



Fortalecer y revisar los procesos de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)

La arquitectura regulatoria construida desde los noventa le ha prestado un buen servicio al país evitando la repetición de episodios de crisis energéticas como las ocurridas a principios de dicha década, y la CREG es uno de los pilares fundamentales de esa estructura. Sin embargo, la carga operativa y regulatoria y los cuellos de botella re-

cientes dificultan la toma ágil de decisiones y la mejora normativa en el sector energético. Se debe fortalecer la institucionalidad, pero también revisar sus procesos en búsqueda de eficiencias que hoy día resultan elusivas, de acuerdo con mejores prácticas internacionales y en línea con las tendencias descritas en este capítulo.



Reglamentar la consulta previa

La construcción de infraestructura energética y las actividades de exploración, explotación, generación y transmisión deben cumplir con procesos de diálogo social. Sin embargo, es necesario llegar a

procesos que realmente permitan realizar estos diálogos de manera tal que se proteja a toda la población y con herramientas innovadoras que permitan llegar a mejores equilibrios con las comuni-



dades. Este debiera ser un campo de innovación en el que muchos investigadores deben trabajar para lograr destrabar procesos que

no están beneficiando a ninguna de las partes y en los que posiblemente debamos pensar en nuevas formas de dialogar.

Rediseñar mecanismos de sustracción del esquema de licenciamiento ambiental

Rediseñar los mecanismos del licenciamiento ambiental, asegurando que sean más claros, eficientes y transparentes. Este rediseño debe garantizar que los proyectos de energía que requieran una licencia ambiental sigan criterios técnicos y ambientales estrictos, sin demoras innecesarias. Figuras como los silencios admi-

nistrativos positivos y ciertas protecciones para los funcionarios que licencian podrían ser necesarias para salir de los múltiples cuellos de botella que hoy se evidencian. Los retrasos que hoy exhiben los proyectos son síntomas de procesos que hoy no responden a ninguno de los objetivos deseables.

Garantizar las estructuras institucionales necesarias

Asegurar que las estructuras institucionales, como la CREG, cuenten con todos los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios para cumplir con sus funciones regulatorias de manera eficiente. Para ello, se requiere que la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) esté plenamente constituida, con todos sus miembros activos, y dotada de las capacidades necesarias para abordar los desafíos de un sector energético en constante transformación. Una CREG fortalecida permitirá

una regulación más efectiva y una mejor toma de decisiones en beneficio del desarrollo energético del país. Así mismo es fundamental que los comisionados, que terminan resultando el recurso escaso, sean tratados como tal. Al igual que los jueces en el sistema judicial y los especialistas en el médico, tenemos que diseñar procesos que usen estos recursos en aquellos puntos en que son cruciales, y que otras decisiones sean atendidas en diferentes instancias.

Implementar políticas para fomentar la inversión en energías renovables

Es necesario crear un entorno favorable para el desarrollo de proyectos de energía limpia, en el que, si existen incentivos fiscales, estos deban ser de largo plazo, y cuyos impactos sean cuantificados periódicamente. De la misma manera debe existir coherencia

en la política fiscal integral que mire diferentes fuentes de energía. No tiene sentido que el país continúe subsidiando ciertos combustibles fósiles a la vez que endurece los gravámenes sobre ciertas emisiones. La política tiene que ser integralmente evaluada.

Promover programas de eficiencia energética en todos los sectores

Incluir programas de eficiencia energética en la industria, el transporte y los hogares maximizaría el uso eficiente de la energía disponible,

reduciría costos y minimizaría el impacto ambiental. La GIDE es esencial en la eficiencia y en el desarrollo optimizado de la demanda.



Garantizar las inversiones para incrementar el acceso y la calidad del servicio energético

Asegurar que las inversiones se dirijan hacia la mejora de la infraestructura energética es crucial para aumentar la cobertura, la confiabilidad y

la calidad del servicio en todas las regiones del país, especialmente en aquellas menos desarrolladas, o las más vulnerables energéticamente.

Fortalecer la estrategia de abastecimiento de gas natural a precios competitivos

Mejorar la producción y distribución de gas natural es vital para asegurar la disponibilidad de este recurso a precios competitivos, contribuyendo a la diversificación de la matriz energética y a la

reducción de emisiones de GEI. Los déficits de gas afectan la industrialización, el bienestar básico de la población, y presionan la demanda eléctrica.

Fomentar una cooperación más estrecha entre los sectores público y privado

Es fundamental disminuir incertidumbres y optimizar costos de capital en proyectos energéticos. Para ese fin, se sugiere promover una colaboración más estrecha entre el sector público y el privado para reducir las incertidumbres y optimizar

los indicadores relacionados con los costos de capital en proyectos energéticos, fortaleciendo la confianza en el mercado. Esto es particularmente importante en la adopción de nuevas tecnologías.

Reforzar la seguridad energética y la gestión sostenible

Desde una visión de futuro, es vital reconocer el papel central de la seguridad energética para garantizar un suministro estable y eficiente. Esto implica impulsar la implementación de tecnologías avanzadas, mejorar las prácticas de operación y modificar los pa-

trones de consumo. Asimismo, reforzar la competencia técnica de las autoridades y fomentar relaciones sólidas y a largo plazo entre los proveedores de energía, consumidores y reguladores será clave para avanzar hacia una gestión energética sostenible e integrada.

Más información

Garantizar que todos los actores del sector energético, incluidos consumidores, inversores y reguladores, tengan acceso a información clara y actualizada. Esto permitirá una toma de decisiones más informada, basada en datos precisos sobre el estado del sistema, las oportunidades de inversión y el

desarrollo de proyectos. Además, promover una mayor transparencia en los procesos de regulación y gestión energética fortalecerá la confianza y facilitará la colaboración entre los sectores público y privado, contribuyendo a un entorno más competitivo y eficiente.



Plantear mecanismos que influyan en el consumo y mejoren las prácticas

Desarrollar mecanismos regulatorios y de mercado que motiven a los usuarios a optimizar su consumo de energía de manera más eficiente. Estos mecanismos deben centrarse en fomentar prácticas sostenibles y la adopción de tecnologías avanzadas, con el fin de generar incentivos claros que reduzcan la demanda durante

las horas pico, evitando así una sobrecarga del sistema que resulte insostenible. Implementar tarifas diferenciadas y programas de respuesta a la demanda permitirá distribuir mejor el consumo energético, asegurando un uso más equilibrado y sostenible de los recursos disponibles.

Generación de incentivos para la actualización y modernización de las redes de transmisión

La modernización de las redes de transmisión es fundamental para garantizar la integración de fuentes de energía renovables y mejorar la confiabilidad del sistema. Se recomienda la creación de incentivos que promuevan la inversión en infraestructuras de

transmisión, mediante mecanismos de financiación público-privada, que permitan la actualización tecnológica y el desarrollo de una red eléctrica más robusta, flexible y resiliente ante fenómenos climáticos.

Aumentar la capacidad de gestión de la UPME

Es necesario fortalecer la UPME dotándola de los recursos técnicos, humanos y financieros necesarios. Para ello, se propone que todas las partes beneficiarias de esta entidad contribuyan financieramente, asegurando una estructura ro-

busta y con el capital laboral idóneo. Las alianzas público-privadas serán esenciales para garantizar una toma de decisiones informada y eficaz que beneficie a todos los actores del sector energético.

Garantizar un sistema que permita la flexibilización para la comercialización de gas, así como la generación de reglas y lineamientos estándar y claros

Se debe establecer un sistema regulatorio que permita la flexibilidad en la comercialización del gas, acompañado de reglas y lineamientos estandarizados y transparentes. Este marco garantizará

un mercado más competitivo y eficiente, donde las empresas puedan operar con mayor certeza y previsibilidad, beneficiando tanto a productores como a consumidores.

Actualizar los cargos de transporte y agregación de tramos

Es indispensable revisar y actualizar los cargos de transporte de energía y gas, de manera que reflejen los costos reales de la infraestructura y promuevan su mantenimiento y expansión. Esta

actualización debe incluir una mejor agregación de tramos para garantizar un acceso más equitativo y eficiente al sistema de transporte energético.



Emitir señales políticas correctas para incentivar la generación de energía en todas las fuentes

Es necesario que el gobierno emita señales claras y coherentes para todas las fuentes de generación energética, asegurando un equilibrio entre la diversificación de la matriz y la confiabilidad del suministro. Se debe premiar la confiabili-

dad en la generación, ofreciendo incentivos que promuevan inversiones en tecnologías que aseguren un suministro continuo y estable, especialmente en tiempos de alta demanda o crisis climáticas.



Generar un entorno de confianza para la inversión extranjera

Para atraer y mantener la inversión extranjera en el sector energético, es crucial generar escenarios de estabilidad y confianza. Esto se puede lograr mediante la implementación de políticas claras y prede-

cibles, la eliminación de barreras regulatorias y el fortalecimiento de las instituciones encargadas de regular y supervisar el sector, lo que brindará mayor certidumbre a los inversionistas internacionales.



SÍNTESIS DE RECOMENDACIONES

→ RECOMENDACIONES DEL CPC QUE YA HAN SIDO ACOGIDAS

Recomendación	Año en el cual fue acogida	Impacto esperado/observado	Observaciones
Eliminar la contribución del 20 % que paga la industria para subsidiar el consumo de energía de los estratos 1, 2 y 3.	2012	Las contribuciones de los usuarios industriales pasaron de COP 526.000 millones en 2011 a cerca de COP 137.000 millones en 2018. Esto representó un ahorro de COP 389.000 millones en este periodo.	Se hace necesario replantear los subsidios de energía a los estratos 1, 2 y 3.
Avanzar en la implementación de incentivos transitorios para el desarrollo de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) adicionales a los de la Ley 1715 de 2014.	2019	El Gobierno nacional, a través del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, ha establecido como meta aumentar la participación de estas tecnologías a cerca del 10 % de la generación.	Minenergía avanzó en la reglamentación de estos beneficios a través del Decreto 829 de 2020.
Determinar los referentes de calidad para los operadores de red, de acuerdo con la Resolución de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) 015 de 2018.	2019	La medida contempla un beneficio o una penalización en los ingresos de los operadores de red de acuerdo con su desempeño, así como la compensación de los usuarios a quienes no se les entregue una calidad mínima en el servicio.	La CREG debe determinar los referentes para cada uno de los operadores de red que le permitan verificar el cumplimiento o incumplimiento de las metas de calidad para los años siguientes.
Avanzar en la elaboración de los componentes técnicos complementarios para el desarrollo de FNCER.	2020	La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) anunció su decisión de avanzar en la estructuración de la primera subasta de almacenamiento de energía en Colombia, que se espera entre en operación en el año 2022.	El proyecto de almacenamiento de energía (potencia de 50 MW) en la ciudad de Barranquilla busca estabilizar las deficiencias del sistema eléctrico de esa zona, donde con cierta frecuencia suelen darse apagones.



Recomendación	Año en el cual fue acogida	Impacto esperado/observado	Observaciones
Avanzar en la implementación de una regulación de la calidad de potencia del Sistema Interconectado Nacional (SIN).	2020	Se implementó la regulación de la calidad de potencia del SIN mediante los cuatro instrumentos regulatorios propuestos en el Resolución CREG 032 de 2012.	
Facilitar el uso de los beneficios tributarios para eficiencia energética.	2020	El Decreto 829 de 2020 designó a la UPME como la entidad delegada para evaluar y certificar los proyectos de eficiencia energética en Colombia. Esto significa que los proyectos ya no tendrán que realizar el trámite ante la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), que tenía una duración de tres meses, por lo que los tiempos para que las compañías puedan acceder a los beneficios tributarios se reduce a 45 días.	A pesar de la centralización y simplificación de los procedimientos para acceder a los beneficios tributarios, la postulación a estos continúa siendo baja por parte de las empresas.
Incrementar el monitoreo y el control sobre la prestación del servicio de energía.	2022	En el contexto regional, la heterogeneidad en materia de calidad del servicio es apremiante. Las interrupciones en el servicio generan pérdidas de materias primas y bienes finales, alteraciones en los ciclos de producción, así como daños en la maquinaria e incertidumbre para concretar negocios. Todo esto puede llevar a la deslocalización de inversiones productivas en los territorios.	Es primordial incorporar criterios más estrictos de metas, estímulos y penalizaciones alrededor del cumplimiento del reporte de la información y, también, sobre la calidad en la prestación del servicio. Esto permite contar con cifras periódicas y verídicas por parte de los operadores de red, de forma que estos puedan tomar los correctivos necesarios para ofrecer un mejor servicio a los usuarios.
Replantear los subsidios a los estratos 1, 2 y 3.	2022	Durante 2021, el monto de los recursos asignados ascendió a COP 4,0 billones, a los cuales los usuarios comerciales y residenciales de los estratos 5 y 6 contribuyeron con COP 1,2 billones. El déficit de COP 2,8 billones debió ser financiado por el Estado.	La Ley 2099 de 2021 habilitó el uso de la información socioeconómica de los hogares como criterio de focalización de los subsidios de energía. Aunque está pendiente la reglamentación de esta normativa, su efectivo cumplimiento sería un paso acertado hacia un mejor esquema de asignación de los subsidios, sustentado en los principios de equidad, redistribución y sostenibilidad financiera.



➔ **NUEVAS
 RECOMENDACIONES**

Recomendación	Impacto/costo de oportunidad	Actores involucrados	Observaciones
Atender la agilidad de los procesos necesarios para el ingreso de la nueva capacidad de generación de la matriz.	La confiabilidad del sistema pasa por diversificar la matriz de generación, que es predominantemente hídrica y térmica. El país requiere avanzar en la materialización de los esfuerzos implementados para asegurar la efectiva provisión del servicio de energía frente a situaciones adversas que afecten la disponibilidad del recurso hídrico o la provisión de combustibles fósiles, así como el retraso en la entrada de proyectos de expansión de energía eléctrica tanto en generación como en transmisión.	Minenergía y CREG	Las restricciones impuestas por la pandemia del COVID-19 retrasaron la ejecución de los proyectos de generación programados para entrar en operación a partir de 2022. Así, el aplazamiento de las 18 iniciativas producto de las subastas de cargo por confiabilidad y contratos de largo plazo del 2019 llevaría a que las empresas seleccionadas con asignación solo comenzarían a entregar energía al SIN a partir de 2023. Para revertir esto, se debe evaluar el desarrollo de esquemas de expansión para asegurar la confiabilidad en el suministro eléctrico en el mediano plazo frente a escenarios de alza de la demanda de energía.
Continuar desarrollando una estrategia de abastecimiento de gas natural a precios competitivos a través de la producción nacional y la importación.	Las reservas probadas de gas natural en Colombia son inferiores a los diez años, lo cual pone en riesgo la autosuficiencia nacional en materia energética. Asegurar la disponibilidad de este recurso es fundamental ante eventuales periodos de baja hidrología en el país, en los que la generación térmica entraría a satisfacer en mayor proporción la demanda.	Minenergía, CREG y UPME	Es necesario avanzar en la construcción de los ocho proyectos de infraestructura de transporte de gas, entre los que se encuentra la Planta de Regasificación del Pacífico. Con ellos se busca ampliar la cobertura del servicio y la capacidad de distribución ante el incremento previsto en la demanda.
Asegurar la cobertura del servicio de energía eléctrica en todo el territorio nacional.	Cerca de 818.119 hogares no cuentan con acceso al servicio de energía eléctrica en Colombia. Garantizar la prestación del servicio promoverá el progreso económico a nivel territorial y contribuirá a una mayor equidad.	Minenergía, UPME y empresas del sector	De acuerdo con lo señalado en el PIEC 2019-2023, entre las opciones de expansión con mayor potencial se encuentran la interconexión al SIN, la generación aislada con solución individual solar fotovoltaica y las soluciones aisladas híbridas para microrredes.



Recomendación	Impacto/costo de oportunidad	Actores involucrados	Observaciones
<p>Aprovechar la ventaja competitiva que tiene el país para exportar hidrógeno.</p>	<p>La producción y el uso de este energético representan una oportunidad para el país, dados los recientes avances en la adjudicación y construcción de proyectos de FNCER, cuya infraestructura podría ser utilizada para la producción de hidrógeno verde. Cálculos preliminares estiman un potencial de generación de energía para Colombia de 50 GW a partir de este combustible.</p>	<p>Minenergía, UPME y empresas del sector</p>	<p>De acuerdo con el Foro Internacional de Energía e Irena, Colombia podría convertirse en uno de los principales exportadores de hidrógeno verde de América Latina a partir de 2030. Asimismo, el país cuenta con el potencial para tener en 2050 el cuarto precio más bajo de hidrógeno verde, superado únicamente por China, Chile y Marruecos. Adicionar otros usos finales del hidrógeno en los incentivos de la Ley 2099 de 2021.</p>
<p>Avanzar en el proceso de digitalización de la red eléctrica a través de la adopción de infraestructura de telecontrol y medición avanzada</p>	<p>El proceso de digitalización de la red eléctrica es fundamental para lograr una mayor calidad del servicio. Esta infraestructura permitirá el monitoreo de las redes en tiempo real para conocer de forma inmediata si hay una avería en la red, las causas y su ubicación. Además, permite actuar de manera oportuna y eficiente, evitando la presencia física de personal.</p>	<p>Minenergía, CREG, Superservicios, academia, centros de investigación y empresas del sector</p>	<p>El uso de esta tecnología será un paso importante en la puesta en marcha de una red inteligente con flujo de energía bidireccional. Por medio de ella el consumidor podrá asumir el rol de productor de energía, gracias a las facilidades que esta representa para la incorporación de tecnologías de autogeneración, almacenamiento de energía, generación distribuida y vehículos eléctricos.</p>
<p>Impulsar los sistemas de autogeneración y generación distribuida al SIN, y poner en marcha los aspectos técnicos y regulatorios adicionales para su masificación.</p>	<p>El Minenergía y otras entidades regulatorias deben avanzar en la determinación de los requisitos técnicos para instalar sistemas de autogeneración y generación distribuida en viviendas y demás edificaciones conectadas al SIN. Además, es fundamental impulsar el uso de sistemas de medición inteligente que les permitan a los usuarios entregar sus excedentes de autogeneración al SIN y obtener su liquidación económica</p>	<p>Minenergía, CREG y UPME</p>	<p>Es necesario progresar en algunos aspectos técnicos y regulatorios que podrían contribuir al impulso de esta tecnología; entre estos: la regulación para proyectos de autogeneración colectivos a partir de procesos asociativos entre grupos de usuarios o comunidades; el cálculo del cargo por respaldo; y la exigencia de instalaciones de protecciones a los proyectos de generación de más de 250 kW, entre otros.</p>



Recomendación	Impacto/costo de oportunidad	Actores involucrados	Observaciones
<p>Definir un esquema que facilite la participación de la respuesta de la demanda en el mercado.</p>	<p>Según Acolgen, las estrategias de autogeneración y respuesta a la demanda podrían generar ahorros cercanos a los COP 1,5 billones anuales, gracias al incremento de la competencia en el mercado.</p>	<p>Minenergía y CREG</p>	<p>La CREG publicó el documento 001 de 2022, a través del cual fijó la hoja de ruta de la RD en el SIN. Este documento fija las líneas de trabajo para los próximos años y busca liberalizar el sector hacia esquemas de libre competencia de la demanda. Esto les permite a los usuarios asumir una participación activa en el mercado al reconocerles beneficios económicos por la gestión eficiente de su demanda.</p>
<p>Potenciar la iniciativa de sustitución de leña para usos energéticos.</p>	<p>En Colombia 1,7 millones de hogares aún utilizan la leña como fuente primaria de energía para su subsistencia. La transición de estos hogares a otras fuentes de energía requerirá inversiones cercanas a COP 6,2 billones entre 2020 y 2050.</p>	<p>Minenergía y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente)</p>	<p>Entre las alternativas de sustitución se encuentran el GLP, que podría extenderse a más de 880.000 hogares (el 57% del total que utilizan leña actualmente). Otras alternativas son el consumo de energía eléctrica, el biogás a partir de residuos orgánicos e, incluso, el remplazo por estufas más eficientes.</p>
<p>Avanzar en las acciones complementarias para el desarrollo de la movilidad sostenible.</p>	<p>El sector transporte es la actividad económica que mayor energía demanda a nivel nacional. Además, se caracteriza por contar con altos niveles de ineficiencia energética y pérdidas de energía. Adicionalmente, los energéticos prevalentes en este sector, diésel y gasolina, son altamente contaminantes, con lo cual se hace necesario incentivar nuevas modalidades de transporte que incluyan combustibles limpios y eficientes</p>	<p>Minenergía y empresas del sector</p>	<p>Si bien medidas como la Ley 1964 de 2019 han impulsado la movilidad sostenible en el país —en particular la movilidad eléctrica, que ha tenido resultados muy favorables con la entrada en circulación de cerca de 40.000 vehículos eléctricos e híbridos entre 2019 y mayo de 2022—, es necesario impulsar otro tipo de tecnologías como el gas natural vehicular, el auto-GLP y los biocombustibles.</p>



Recomendación	Impacto/costo de oportunidad	Actores involucrados	Observaciones
<p>Mejorar la planeación de los proyectos de generación y transmisión eléctrica y de explotación, transporte e interconexión de gas natural.</p>	<p>En general, la UPME define el momento en el cual se requiere determinada infraestructura de energía eléctrica y de gas natural. Una vez adjudicada la construcción de dicha infraestructura, es frecuente que los agentes que la desarrollan tengan demoras en la expedición de las aprobaciones ambientales y de consulta previa con las comunidades.</p> <p>Estas demoras se traducen en sobrecostos para los consumidores, dado que no pueden disponer de los recursos más económicos en los tiempos inicialmente previstos.</p>	<p>UPME, Minenergía, Ministerio de Interior (Mininterior) y ANLA</p>	<p>Para asegurar la entrada de los proyectos en los tiempos requeridos, se necesita, en primer lugar, agilizar la revisión de la documentación y la expedición de las licencias ambientales y consultas previas de estos proyectos. En segundo lugar, hay que aumentar el periodo de planeación para la identificación de los proyectos, en reconocimiento del tiempo que actualmente está demorando la expedición de estos permisos. Por último, se deben generar informes periódicos trimestrales de conocimiento público sobre la evolución del desarrollo de la infraestructura, para que los agentes puedan tomar las acciones correctivas pertinentes.</p>
<p>Emitir los aspectos regulatorios para el desarrollo del mercado de corto plazo y de servicios complementarios.</p>	<p>A partir de la experiencia internacional en mercados eléctricos modernos, el desarrollo de alternativas como el despacho vinculante, las sesiones intradiarias y los mecanismos de balance o ajuste son pilares fundamentales del mercado de corto plazo de energía. Estos contribuyen a un desarrollo adecuado del mercado eléctrico mayorista, en un marco de eficiencia y seguridad para el suministro eléctrico.</p>	<p>CREG</p>	<p>Se requiere que la CREG avance en la agenda regulatoria para el desarrollo normativo del mercado de corto plazo y de los servicios complementarios asociados a este.</p>
<p>Profundizar la competencia del servicio eléctrico.</p>	<p>Mayor competencia deriva en precios más eficientes y mayor flexibilidad.</p>	<p>Minenergía y CREG</p>	<p>Avanzar en reglas de liberalización del mercado, reducción de límites de acceso al mercado no regulado y desarrollo de AMI.</p>



Recomendación	Impacto/costo de oportunidad	Actores involucrados	Observaciones
<p>Aumentar la presencia de las autoridades en las consultas previas para agilizar la puesta en marcha de los proyectos y el acercamiento con las comunidades para generar entorno de confianza.</p>	<p>Las consultas previas son un derecho fundamental adquirido por los grupos étnicos y comunidades de poder decidir sobre medidas, proyectos, obras o actividades que se vayan a realizar dentro de sus territorios, con el fin de proteger su integridad cultural, social y económica y garantizar el derecho a la participación. Sin embargo, cuando hay más comunidades de las registradas en Mininterior se presentan retrasos para los proyectos que afectan la viabilidad de estos y los plazos estipulados para que entren a respaldar la matriz energética.</p>	<p>Mininterior</p>	<p>Es importante que Mininterior mantenga actualizado el registro de las comunidades sujeto a consulta previa, a fin de evitar la aparición de nuevas comunidades que puedan ralentizar y retrasar el proceso, además de aumentar los tiempos de construcción de infraestructuras en la generación o transmisión de energía, lo que afecta la rentabilidad y desincentiva nuevas inversiones. Asimismo, conviene que exista un acompañamiento a las instituciones para que haya celeridad en el proceso.</p>
<p>Garantizar que la CREG funcione como fue pensada.</p>	<p>El gran apagón de 1992 fue un evento revelador que demostró la insostenibilidad de dejar exclusivamente en manos del Gobierno las decisiones de inversión y expansión en el sector energético. Para abordar esto, se creó la CREG, con criterios técnicos y expertos independientes, estableciendo reglas claras para los inversionistas. Su función es regular los servicios de electricidad y gas con el objetivo de ofrecerlos de manera amplia y a un costo mínimo para los usuarios, asegurando una remuneración justa para las empresas. Aunque ha sido fundamental para mejorar la confiabilidad, cobertura y calidad del servicio, se debe mejorar su capacidad institucional para agilizar el proceso de regulación y fomentar la modernización del sector energético, sin que esto afecte la competitividad. Además, se debe asegurar que la institución está cumpliendo su misionalidad, tal como fue pensada.</p>	<p>Minenergía y Congreso de la República</p>	<p>Resulta fundamental revisar y ajustar la normativa interna de la CREG y robustecer su capital humano, con el fin de que la regulación que expida se continúe caracterizando por tener independencia y un alto componente técnico. Es esencial fortalecer su capacidad institucional con el propósito de agilizar el proceso de regulación y promover la modernización del sector energético, sin que esto represente trabaje a la competitividad del sector</p>



REFERENCIAS

- 1 Bloomberg. [s. f.]. *Texas power grid grapples with rising system needs*. <https://about.bnef.com/blog/texas-power-grid-grapples-with-rising-system-needs/>
- 2 Colombia Inteligente. [2024]. *World energy trilemma 2024: Evolving with resilience and justice*. https://colombiainteligente.org/es_co/tendencias/world-energy-trilemma-2024-evolving-with-resilience-and-justice/
- 3 DANE. [2022]. *Encuesta Calidad de Vida*.
- 4 Ecopetrol. [2024, 9 de octubre]. *Ecopetrol busca alternativas para enfrentar déficit de gas en Colombia*. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Ecopetrol-busca-alternativas-para-enfrentar-deficit-de-gas-en-Colombia>
- 5 Ercot. [s. f.]. *Grid and market dashboards*. <https://www.ercot.com/grid-mktinfo/dashboards>
- 6 Enerdata. [2023]. *Global Energy Trends*. <https://www.enerdata.net/publications/reports-presentations/world-energy-trends.html>
- 7 Enerdata. [2024]. *Consumo energético total*. <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>
- 8 Filipovi , S., Radovanovi , M. y Golušin, V. [2018]. Macroeconomic and political aspects of energy security—Exploratory data analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 428-435. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118306427?casa_token=i5J2eklmj0QAAAAA:cc.FGNrD_PGmRnSSGFzInVzZAaS_pVNi-WnZ5n-7V2w9puxl-m?JcrOS-OYFk0FAKzPLNPzTkK9q
- 9 France 24 Español. [2023, 14 de marzo]. *Colombia: Avances y retos de la transición energética* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=cnyB9i0GKIY>
- 10 Fundación Paz y Reconciliación (Pares). [2023]. *Cobalto, litio y cobre: Los minerales que necesita empezar a explotar Colombia*. <https://www.pares.com.co/post/cobalto-litio-y-cobre-los-minerales-que-necesita-empezar-a-explotar-colombia>
- 11 Green Deal Dataspace. [2024]. <https://green-deal-dataspace.eu/>
- 12 IEA. [2023a]. *Colombia 2023: Energy Policy Review*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2fa812fe-e660-42f3-99bc-bd75be3ca0b5/Colombia2023-EnergyPolicyReview.pdf>
- 13 IEA. [2023b]. *World energy outlook 2023: Executive summary*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary>
- 14 KPMG. [2023]. *Minería: El litio podría impulsar la economía de América del Sur*. <https://kpmg.com/co/es/home/insights/2023/06/mineria-el-litio-podria-impulsar-la-economia-de-america-del-sur.html>
- 15 Kronenberg, T. [2009]. The impact of demographic change on energy use and greenhouse gas emissions in Germany. *Ecological Economics*, 68(10), 2637-2645. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.04.016>
- 16 Kuzma, S., Bierkens, M. F., Lakshman, S., Luo, T., Saccoccia, L., Sutanudjaja, E. H. y Van Beek, R. [2023]. *Aqueduct 4.0: Updated decision-relevant global water risk indicators*. World Resources Institute.
- 17 Labandeira, X., Labeaga, J. M. y López, A. [2016]. Un metaanálisis sobre la elasticidad precio de la demanda de energía en España y la Unión Europea. *Papeles de Energía*, 2, 65-93. https://www.funcas.es/wp-content/uploads/Migracion/Articulos/FUNCAS_PE/002art04.pdf
- 18 Minenergía. [s. f.]. *El ciudadano Freddy Maurice Cortés Zea nos pregunta: ¿Cuál es el estado de presencia y disponibilidad de minerales para la transición energética en Colombia, como Litio?* https://www.minenergia.gov.co/documents/7112/Respuesta_a_pregunta_del_ciudadano_Freddy_Maurice_Cort%C3%A9s_Zea.pdf
- 19 NCEI. [2023, 22 de agosto]. *Reportando sobre el estado del clima del 2023*. <https://www.ncei.noaa.gov/news/reportando-sobre-el-estado-del-clima-del-2023>
- 20 Otero-Cortés, A., Álvarez, O. y Acosta, K. [2023]. *Mercado laboral y pobreza en Barranquilla* (Documentos de Trabajo sobre Economía Regional y Urbana). Banco de la República.
- 21 PQ Barcon. [2022]. *Costo de la mala calidad de la energía*. <https://pq-barcon.com/wp-content/uploads/2022/07/Costo-de-la-mala-calidad-de-la-energia-PQ-Barcon.pdf>
- 22 Probogotá Región. [@ProbogotaRegion]. [2024, 4 de octubre]. #AseguremosLaEnergía | Bogotá y la región tiene el riesgo de sufrir un apagón, y el país podría estar perdiendo un punto y medio del #PIB en el año en que este corte se presente (2026/27) [Tweet]. <https://x.com/ProbogotaRegion/status/1842331876272615656>
- 23 Servicio Geológico Colombiano. [2020]. *Litio (Li)*. https://svags.sgc.gov.co/Archivos_Geoportal/Amenaza_Sismica/Atlas_Geoquimico_2020/pdf/19.Li.pdf
- 24 Statista. [2023]. *Volumen de energía renovable consumido a nivel mundial*. <https://es.statista.com/estadisticas/635724/volumen-de-energia-renovable-consumido-a-nivel-mundial/>
- 25 Subdirección de Demanda. [2022]. *Actualización del Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052* (Tomo I). UPME.
- 26 UPME. [2022]. *Plan de expansión de generación y transmisión 2022-2036*. https://www1.upme.gov.co/siel/Plan_expansin_generacion_transmission/Plan_de_Expansion_2022-2036_VF.pdf



- 27 UPME. (2023a). *Proyección de precios energéticos I semestre 2023*. https://www1.upme.gov.co/sipg/Publicaciones_SIPG/Proyeccion_precios_energeticos_I_semestre_2023_vf.pdf
- 28 UPME. (2023b). *Proyección demanda de energía eléctrica, gas natural y combustibles líquidos 2023-2037*.
- 29 UPME. (2024a). *PEN 2022-2052*. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN-2052.aspx>
- 30 UPME. (2024b). *Proyecciones de demanda final*. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Proyecciones_de_Demanda_Final_v_31_01_2024.pdf
- 31 UPME y Universidad de Antioquia (UDEA). (2024). *Resultados Pacto Educativo para la Planeación Energética en Colombia y la Transición Energética Justa*. https://www1.upme.gov.co/Documents/Enfoque-territorial/Resultados_convenios/3_Justicia_Energetica_UDEA_v2.pdf
- 32 Yu, B., Wei, Y. M., Gomi, K. y Matsumura, Y. (2022). Future scenarios for energy consumption and carbon emissions due to demographic transitions in Chinese households. *Nature Energy*, 7(6), 1-1. <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01026-5>
- 33 World Energy Council. (2022). *World Energy Issues Monitor 2022*. <https://www.im.worldenergy.org>
- 34 World Energy Council. (2023). *Country Profile: Colombia*. <https://trilemma.worldenergy.org/#!/country-profile?country=Colombia&year=2023>
- 35 World Energy Council. (2024). *World Energy Issues monitor 2024: Redesigning Energy in 5D*. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Issues_Monitor_2024_-_Full_Report.pdf?v=1718202451
- 36 World Energy Council. (s. f.). *Colombian Member Committee*. <https://www.worldenergy.org/world-energy-community/members/entry/colombia>
- 37 XM. (s. f.-a). *Históricos de demanda*. <https://www.xm.com.co/consumo/historicos-de-demanda>
- 38 XM. (s. f.-b). *Oferta y Generación*. <https://sinergox.xm.com.co/oferta/Paginas/Informes/CapacidadEfectiva.aspx>