

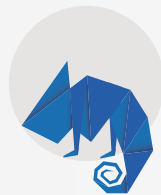
TRANSFORMA

INFORME DE POLÍTICA:

La transición energética en Colombia: análisis y recomendaciones para la eliminación gradual de la generación a partir del carbón

Hallazgos relevantes

- 1.** Colombia ya cuenta con los elementos para planificar la eliminación gradual de las centrales termoeléctricas que utilizan carbón: compromisos ambiciosos de la NDC para la reducción de las emisiones de GEI, una clara reducción del apetito de los inversionistas en nuevos proyectos de centrales eléctricas de carbón, capacidad instalada de alternativas para la energía de respaldo, y una cartera importante de proyectos de energía renovable que serán instalados en los próximos 10 años.
- 2.** La complementariedad que puede generarse entre las centrales hidroeléctricas y un aumento de las fuentes no convencionales de energía renovable, junto con otras energías renovables firmes como la geotérmica, permite que el país pueda dejar de depender de las centrales termoeléctricas de carbón y gas natural.
- 3.** El desarrollo de los diferentes planes de transición energética debe incluir un análisis técnico de los aspectos volátiles, como el precio de la electricidad, la estabilidad de la red y el respaldo necesario para eventos de sequías extremas.
- 4.** La ejecución de proyectos de generación con carbón está prácticamente detenida y parece que en los próximos años no habrá nuevos proyectos de generación a partir del carbón.



1. Introducción

El mercado mundial del carbón se está reduciendo rápidamente, y Colombia, que depende económicamente de las exportaciones de este mineral, puede enfrentarse a una drástica disminución de su demanda en los próximos años. Por otra parte, el país se ha comprometido a reducir el 51% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para 2030, lo que exige ambiciosas medidas climáticas en los próximos 10 años. Hasta la fecha no hay planes claros para la eliminación de las centrales termoeléctricas de carbón que operan en el país, sin embargo, hay que considerar que la mayoría de las centrales instaladas en el país tienen décadas de antigüedad, y que generan una fracción importante (4,1%) de las emisiones nacionales de GEI.

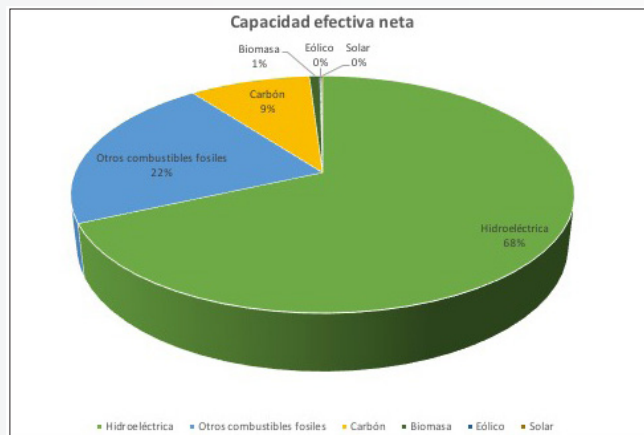
Para los próximos años, no se contemplan nuevos proyectos de generación a base de carbón y alrededor de 10 proyectos de generación a base de gas natural. Por otra parte, en los últimos años, el gobierno nacional ha fomentado la instalación de fuentes de energía renovable no convencionales mediante subastas y ciertos beneficios económicos para los inversionistas. Sin embargo, los planes oficiales de expansión de la electricidad siguen considerando las centrales térmicas de carbón y gas natural como el respaldo de la nueva capacidad de fuentes renovables.

El objetivo principal de este documento es analizar el pipeline de generación de carbón, revisar los planes del país para nuevos proyectos renovables y proporcionar recomendaciones para una transición energética adecuada y efectiva que abandone la generación de carbón, y evite al mismo tiempo una mayor dependencia del carbono. Por último, se analizan ejemplos de países que están haciendo la transición hacia la descarbonización, como Chile, Uruguay y Costa Rica, para buscar incentivos, modelos y soluciones para avanzar hacia una matriz eléctrica más limpia y segura.

2. Contexto General

Aunque la matriz de generación eléctrica de Colombia es una de las más limpias del mundo, un poco más del 30% de la capacidad instalada está compuesta por tecnologías que utilizan combustibles fósiles (gas natural, diésel, carbón, etc.) (ACOLGEN, 2019). En el caso específico de las centrales térmicas a base de carbón, el país cuenta con una capacidad efectiva neta de 1,619 MW, que representan el 9,3% de la ca-

pacidad efectiva neta total, que al cierre de 2019 era de 17,462 MW (Figura 1) (XM, 2020).



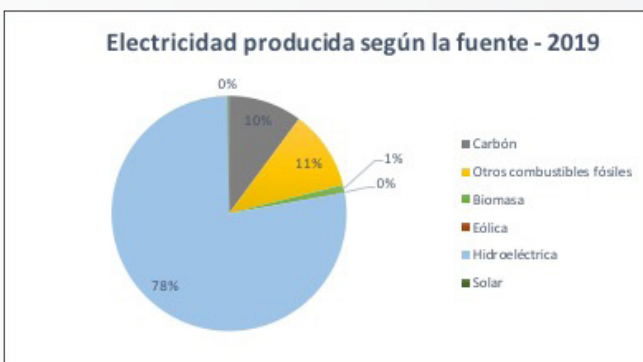
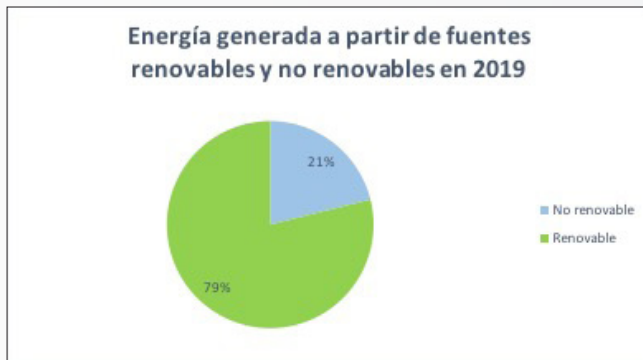
La matriz eléctrica colombiana está dominada por la energía hidráulica (68.2%), seguida de otros combustibles fósiles y el carbón. Mientras tanto, las fuentes de energía renovable no convencionales, como la solar y la eólica, tan solo tienen una participación inferior al 1%. En 2019, las centrales térmicas de carbón del país generaron el 10.2% de la demanda nacional que fue de 70,115 GWh (Figura 2). En términos de emisiones, el sector de generación eléctrica en Colombia tiene actualmente un factor de emisión de 164 gCO₂eq/kWh (XM, 2020), un valor relativamente bajo comparado, por ejemplo, con el factor de Estados Unidos, que fue de 449,05 gCO₂eq/kWh en el año 2018 (U.S Energy Information Administration, 2020).

Según información de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), actualmente el 96.5% de Colombia tiene cobertura eléctrica, pero algunas regiones como La Guajira, una de las zonas con mayor producción de carbón a nivel nacional, solo tiene el 58,8% de cobertura eléctrica, lo que significa que cerca de 82,000 viviendas en este departamento no están conectadas a la red eléctrica (UPME, 2019).

Colombia ha tenido una alta dependencia de las fuentes hidráulicas, lo cual ha creado dificultades durante largos periodos de sequía. Tal es el caso que, en la crisis energética de 1992, el país tuvo que racionar parcialmente el suministro de energía durante casi 9 meses (Semana, 2015). Durante eventos extremos como estos, las centrales térmicas del país han llegado a cubrir casi el 50% de la demanda nacional (Planas Marti & Cárdenas, 2019). Sin embargo, los expertos mencionan que el riesgo ante las sequías

puede reducirse diversificando la matriz eléctrica colombiana, especialmente aumentando la participación de fuentes de energía renovable no convencionales, como la solar y la eólica (Planas Marti & Cárdenas, 2019).

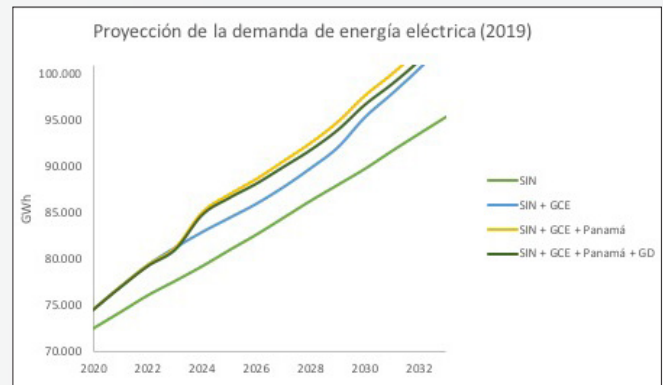
En el pasado, los combustibles fósiles han permitido que el país mantenga el servicio eléctrico durante grandes sequías, y probablemente en esos momentos era difícil pensar en eliminar este tipo de tecnología de la matriz eléctrica, debido a su confiabilidad como un respaldo seguro. Sin embargo, hoy hay evidencia de que Colombia tiene un gran potencial para incrementar su capacidad de energía renovable, e incluso, actualmente existe un importante pipeline de proyectos de energía renovable que podría representar la instalación de casi 7,5 GW en menos de 10 años (Ministerio de Minas y Energía, 2020; Redacción BIBO, 2019; ProColombia, 2020; IRENA, 2020; IRENA, 2019).



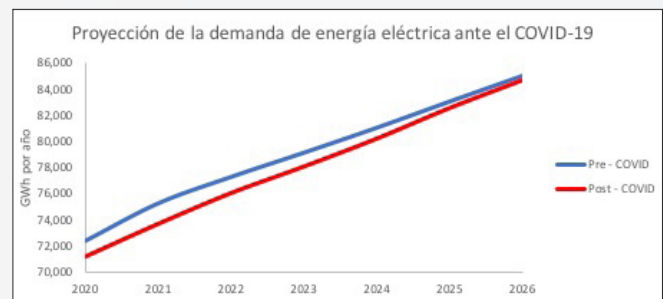
3. Proyecciones de la demanda de electricidad

La UPME es la institución encargada de proyectar la demanda de energía eléctrica para los próximos años. En 2019 publicó sus proyecciones para los

años 2019 a 2033 (Figura 3), que muestran un incremento global de la demanda de casi el 45%, respecto a los niveles de 2019, alcanzando unos 104,000 GWh en el año 2033 (UPME, 2019).



En respuesta a la pandemia del COVID-19, la UPME publicó un nuevo informe con proyecciones de la demanda de energía para 2020-2026. En este se proyecta que, a corto y mediano plazo, los efectos de la pandemia se harán evidentes, ya que la demanda de energía eléctrica crecerá a un ritmo menor del que se había previsto en 2019. Sin embargo, a largo plazo, la demanda no se verá muy afectada. Después de todo, la UPME concluyó que la demanda alcanzará los niveles previstos antes del COVID-19 a partir del año 2025 (Figura 4) (UPME, 2020).



Así pues, dado que se prevé que la demanda de energía eléctrica aumente, es importante buscar soluciones sobre cómo diversificar las fuentes de energía y aumentar la capacidad instalada, evitando al mismo tiempo una mayor dependencia de carbono que dificulte los objetivos climáticos del país. De este modo, se podrán cubrir todas las necesidades de forma segura, confiable y ambientalmente responsable.



4. Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia

A finales del año 2020, el gobierno colombiano presentó la versión actualizada de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) para el periodo 2020-2030. En esta nueva versión se destaca el compromiso de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que pretende limitar las emisiones a 169.44 Mt de CO₂eq en 2030, es decir, una reducción del 51% respecto a la línea base de emisiones de GEI (Gobierno de Colombia, 2020).

Para lograr esto, el gobierno propone tres medidas principales que se deben aplicar desde el sector energético y buscan una mitigación de entre 5.91 a 11.21 Mt de CO₂eq:

1. Eficiencia energética: Optimizar el despacho de energía eléctrica para promover el aumento de la eficiencia de las centrales que permitan la reducción de las emisiones de GEI de forma rentable, sin afectar las condiciones del mercado eléctrico ni la confiabilidad de la prestación del servicio.

2. Gestión de la demanda: Reducir la diferencia de consumo eléctrico entre las horas pico y las horas valle, gestionar la generación de electricidad en las horas valle a partir de fuentes no contaminantes y promover la futura implementación de tecnologías como las redes inteligentes y las tarifas dinámicas.

3. Generación de electricidad: Diversificar la matriz energética colombiana, promover la autogeneración de energía a través de fuentes alternativas y transformar la generación de energía en las Zonas No Interconectadas. Además, buscar la armonización de los requisitos ambientales para el desarrollo de las fuentes de energía renovable no convencionales.

Aunque estas medidas promueven la diversificación de la matriz energética colombiana, apoyan la instalación de fuentes de energía renovable no convencionales y buscan lograr una reducción de las emisiones de GEI, no se menciona la reducción de la generación de electricidad por parte de las centrales termoeléctricas del país.

5. ¿Cuánto contribuyen las centrales termoeléctricas de carbón a las emisiones nacionales?

Aunque se espera que el mercado del carbón colombiano se reduzca durante la próxima década, Colombia podría mantener el consumo interno de las centrales térmicas durante muchos años más (XM, 2020; Consorcio SERGEING - SISOCOAL - RMR, 2016; Agencia Nacional de Minería, 2017; BP, 2020). Sin embargo, esto iría en contra del objetivo fijado en la última NDC. La quema de carbón genera 7.32 Mt de CO₂eq de CO₂ y 2.37 Mt de CO₂eq de CH₄, que representan el 4.09% de las emisiones nacionales de GEI (XM, 2020; IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA, 2018). Algo importante es que, si se detuviera la explotación de las reservas de carbón confirmadas en Colombia, se evitarían aproximadamente 11,500 Mt de CO₂eq de emisiones directas asociadas a la quema de carbón (a nivel local y global), lo que equivale a cerca del 47% de las emisiones globales de GEI del año 2019 (IEA, 2020; Nugent, 2020; Enerdata, 2020).

Según el último inventario de gases efecto invernadero de Colombia, presentado en el segundo Reporte Bienal de actualización, y específicamente para el sector energía, subcategoría de quema de combustibles, la actividad del transporte es la que tiene mayor participación durante el 2014 (último año reportado), seguido de la generación de electricidad, tanto en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) como en las Zonas No Interconectadas (ZNI); las emisiones para estos dos sectores fueron en total de 29.3 Mt CO₂eq y 23.3 Mt CO₂eq respectivamente (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA, 2018). Este valor reportado de emisiones para el sector eléctrico se ve influenciado año tras año dependiendo de la intensidad de los fenómenos de variabilidad climática, como el Fenómeno del Niño. Lo anterior conlleva a la dependencia de las termoeléctricas que a su vez conlleva al incremento en el uso de combustibles fósiles para la producción de electricidad, y, por lo tanto, al aumento de las emisiones del módulo de energía (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA, 2018).

Así pues, es importante mencionar que, si bien en total para el año 2014 las emisiones del sector de generación eléctrica fueron del orden del 10%, y hay sectores que tienen emisiones mayores, la meta de miti-

gación comprende todos los sectores de la economía (Gobierno de Colombia, 2020). Por esto, el compromiso de la NDC obliga a que cada sector desarrolle planes para la reducción de sus emisiones a 2030 y, además, que los sectores se conviertan en carbono neutral antes del 2050. Esto último, según la visión plasmada en la estrategia 2050 para Colombia que se encuentra actualmente en desarrollo y también en línea con los compromisos del Acuerdo de París.

En línea con lo anterior, el Ministerio de Energía, en conjunto con varios actores del sector privado de generación, lanzó en el mes de marzo de 2021 la Alianza Sector Eléctrico Carbono Neutral. Esta alianza consiste en un compromiso que busca desarrollar todas las acciones para que las empresas participantes, en conjunto con el ministerio rector de política energética del país, puedan generar su electricidad de manera confiable, segura y con las menores emisiones posibles hasta antes del 2050, en las que la generación de electricidad debe convertirse en carbono neutral (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

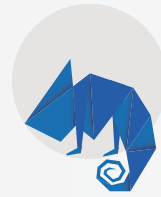
6. Antigüedad y ubicación de las centrales termoeléctricas de carbón

Actualmente, las centrales térmicas de carbón en operación tienen una capacidad instalada de 1,619.5 MW (Tabla 1). En 2019, estas centrales termoeléctricas generaron el 10.15% de la energía eléctrica producida en el país, es decir, 7,119 GWh (XM, 2020). La edad promedio de estas centrales es de 34 años, y solo las dos unidades de Gecelca y la Unidad II de TermoTasajero entraron en operación recientemente (2015 -2017) (Consortio SERGEING - SISOCOAL - RMR, 2016).

Las centrales a base de carbón se encuentran en el centro y norte de Colombia, principalmente en los departamentos donde se realiza la extracción de carbón. Como la mayoría de estas centrales termoeléctricas tienen más de 20 años, sus tecnologías ya son obsoletas y altamente contaminantes (Consortio SERGEING - SISOCOAL - RMR, 2016). Posiblemente estas plantas tienen un proceso de mantenimiento anual y cumplen en su mayoría con las normas de emisión establecidas por el gobierno nacional. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las emisiones siguen siendo generadas y, como se ha mencionado anteriormente, representan una parte importante de las emisiones nacionales de GEI.

Propietario	Planta	Ubicación	Región	Unidad	Capacidad MW	Año en el que se puso en operación
EMGESAS.A (Enel)	TermoZipa	Cundinamarca	Andina Central	2	235.5	1964
				3		1972
				4		1979
				5		1981
GECELCA S.A	Gecelca	Córdoba	Caribe	3	164	2015
				3.2	273	2017
	TermoGuajira	La Guajira	Caribe	1	143	1982
				2	143	
GENSA S.A	TermoPaipa	Boyacá	Andina Central	1	36	1963
				2	72	1974
				3	70	1978
TERMOTASAJERO S.A	TermoTasajero	Norte de Santander	Andina Oriental	1	163	1984
				2	170	2015
COMPAÑIA ELECTRICA SOCHAGOTA	TermoPaipa 4	Boyacá	Andina Central	4	150	1997
Capacidad total a base de carbón					1619.5	--

Tabla 1: Centrales termoeléctricas a base de carbón que operan actualmente en Colombia. Elaborado por el autor con información de (Consortio SERGEING - SISOCOAL - RMR, 2016).



7. Proyectos de centrales termoeléctricas de carbón en curso

La UPME también se encarga de hacer un seguimiento de los proyectos de generación nacional en curso. De los 1,665 proyectos energéticos registrados a noviembre de 2020, 47 tienen previsto utilizar carbón como combustible (UPME, 2020). Sin embargo, un breve análisis de la información disponible muestra que la mayoría de estos proyectos tienen pocos o ningún indicio de ser ejecutados pronto.

En Colombia, para que un proyecto de energía eléctrica se considere en fase de desarrollo avanzada debe contar con dos permisos o autorizaciones esenciales: (a) una licencia ambiental otorgada por la Autoridad Nacional o local de Licencias Ambientales (ANLA o CAR), y (b) una conexión a la red eléctrica aprobada. Hay muchos proyectos que se registran

como aspirantes, pero nunca obtienen estos dos requisitos y, por lo tanto, no se construyen.

De los 47 proyectos de carbón que figuran en el Registro de Proyectos Vigentes de la UPME, sólo 12 han solicitado la conexión a la red. De estos 12 sólo 6 corresponden a nuevas centrales térmicas, mientras que el resto son nuevas ampliaciones de centrales existentes (UPME, 2020; UPME, 2020).

TermoTasajero III es uno de los proyectos cancelados desde el año 2018. En la carta enviada por sus promotores, solicitando el retiro del proyecto del Registro de Proyectos Vigentes de la UPME, retiro que aún no se ha realizado, se explicó que existe un desincentivo por parte del gobierno a la generación con carbón y que se están promoviendo contratos de energías renovables no convencionales, desincentivando así la inversión en proyectos relacionados con centrales de carbón (Portafolio, 2018).

Proyecto	Capacidad	Ha presentado una solicitud ante la ANLA/CAR	Actas o Resoluciones	Estudio de Impacto Ambiental	¿Es un proyecto nuevo?	Estado de la solicitud de conexión a la red
Central Térmica La Luna	1,155 MW	Si	Si	Si	Si	Ya se aprobaron 660 MW y la ampliación a 1155 MW se aprobará sólo si hay una ampliación de la red.
Cerromatoso - Gecelca 3.2	273 MW	No info.	No info.	No info.	No	Aprobada
Planta Térmica Ciénaga de Oro	350 MW	Si	No	No	No	Aprobada
Térmica Innercol I	90 MW	Si (2016)	No	No	Si	OR/T Libera la capacidad
TermoApolo	350 MW	Si	No	No	Si	Pendiente o Promotor
TermoCaribe	42 MW	Si	No	No	Si	Remisión del estudio de interconexión - Concepto aprobado
TermoCucunuba	99 MW	Si	No	No	Si	Pendiente o Promotor
TermoPaipa	207 MW	Si	Si	Si	No	Aprobada
TermoPaipa IV	15 MW	Si	Si	Si	No	Aprobada
TermoTasajero II	181 MW	Si (2016)	No	Si (Modificado)	No	Aprobada
TermoTasajero III	180 MW	No	No	No	Si	Pendiente o Promotor

Tabla 2: Revisión de los proyectos de carbón que podrían salir en los próximos años en Colombia. Elaborado por el autor con información de (UPME, 2020; ANLA, 2020)

TermoApolo, TermoCaribe, TermoCucunuba y la Central Térmica Innercol I son proyectos que solicitaron la conexión a la red, pero no han solicitado la licencia ambiental para construir y operar.

Un proyecto que ya cumple con la mayoría de los requisitos y del que se habla mucho en el sector energético es la Central Térmica La Luna, uno de los primeros proyectos con tecnología Ultra Súper Crítica en América Latina (emite niveles de CO₂ más bajos que una central térmica de gas natural) (Portafolio, 2020). Esta central térmica cuenta con un suministro directo de carbón, ya que cuenta con una mina que será explotada para su propio consumo. La central, las líneas de transmisión y la mina de carbón ya cuentan con las licencias ambientales para ser construidas y comenzar a operar (ANLA, 2020). Este proyecto debe comenzar a despachar energía en 2023 (ya tiene 660 MW aprobados, pero esperan llegar a 1.155 MW) y se estima que consumirá 1.8 Mt de carbón al año (Portafolio, 2019). Sin embargo, a finales de 2020, el proyecto no tiene información actualizada, y se dice que no se llevará a cabo por falta de apoyo financiero y oposición ambiental y social.

Termobijao es otro de los proyectos de los que se habla en el sector. Sin embargo, este no ha hecho una solicitud de conexión a la red y no tiene mucha información en la UPME. Este proyecto logró obtener todas las licencias ambientales para construir y operar su planta, que se instalaría en Córdoba y tendría una capacidad instalada de 460 MW. La última información sobre este proyecto es que aún se estaba definiendo su viabilidad financiera (Portafolio, 2018).

Así pues, de todos los 47 proyectos de generación a base de carbón inscritos en el Registro de Proyectos Vigentes de la UPME o en el Registro de Conceptos de Conexión a la Red, sólo hay dos que se podrían construir: la Central Térmica La Luna y Termobijao. Los demás no se pueden descartar del todo, pero están en una fase que parece estancada. Por esto, no se espera una construcción importante de centrales de carbón en los próximos años. Por el contrario, existe una gran incertidumbre sobre el futuro de estos proyectos, especialmente por las dificultades de su financiación, la gran competencia actual de las renovables, los permisos medioambientales y, en algunos casos, también por la oposición social.

8. Planes de expansión de las fuentes renovables no convencionales

El mercado eléctrico colombiano se prepara para una transición energética que busca reducir los costos de generación, crear más de 6,000 empleos y reducir las emisiones de GEI. Para el año 2022 el gobierno espera alcanzar una capacidad instalada de 2,500 MW de fuentes de energía renovables no convencionales (solar y eólica). Esto diversificaría la matriz eléctrica colombiana y aumentaría la participación de fuentes de energía renovable no convencionales, pasando de menos del 1% a más del 12% (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

Este aumento significativo de la participación de las fuentes no convencionales se da gracias a las subastas públicas de 2019 que favorecieron el cierre financiero de los proyectos de energías renovables. La primera, en febrero, fue la subasta del cargo por confiabilidad, que se realizó con el objetivo de asegurar el suministro de energía a largo plazo. Del total de 4,010 MW asignados con obligaciones de energía firme, se eligieron 1,160 MW de proyectos eólicos y 238 MW de proyectos solares (XM, 2019).

En la segunda subasta, en octubre de ese mismo año, cinco proyectos eólicos y tres solares se adjudicaron contratos de compra y venta de energía a 15 años. Estos contratos permiten garantizar la financiación de estos proyectos y el inicio de su operación desde 2022.

9. Planes de generación y transmisión

La UPME elabora cada dos años un informe en el que presenta los planes nacionales de generación y transmisión de electricidad para los próximos 15 años. Ninguno de los tres últimos informes (2015-2029, 2017-2031 y 2019-2033) muestra un cambio significativo en la generación a base de carbón. Los diferentes escenarios se centran en un aumento de las energías renovables. Los dos primeros informes continúan con una participación del 7-11% de las plantas térmicas a base de carbón en la matriz eléctrica, al menos para la próxima década, mientras que el informe más reciente no incluye el plan nacional de ampliación de plantas de generación eléctrica, debido a la reciente crisis del proyecto Hidroituango (2,400 MW) (UPME, 2016; UPME, 2018; UPME, 2020).



Estos documentos indican que el país tiene previsto aumentar las fuentes de energía renovables, pero siempre con el apoyo de las centrales térmicas. Las que funcionan a base de carbón, parece que seguirán trabajando de forma estable durante al menos otros 10 años más.

Además, en el último Plan Energético Nacional (2020-2050) se plantea un escenario en el que se realiza una eliminación de las centrales ineficientes y contaminantes. Sin embargo, este escenario, que depende de aspectos tecnológicos y económicos, evidencia que para 2050, las centrales térmicas seguirían representando cerca del 13% de la capacidad instalada a nivel nacional (UPME, 2021).

10. Alternativas de respaldo

a. ¿Puede la energía hidroeléctrica ser una fuente de energía de respaldo?

En Colombia, la energía hidráulica es vista como una fuente de generación firme y de base, pero si se quiere aumentar la participación de las fuentes de energía renovable no convencionales en la matriz eléctrica, las fuentes hidráulicas deben convertirse en una fuente de respaldo flexible que apoye la generación con fuentes no convencionales (Alarcón, 2019). Este respaldo permitiría la expansión de las fuentes de energía variable (principalmente las fuentes de energía renovable no convencionales), lo que puede resultar en (a) una reducción o casi eliminación de la dependencia de la generación térmica, (b) una importante reducción de las emisiones generadas por el sector eléctrico y (c) una complementariedad del sistema energético que puede proporcionar garantía y seguridad energética al país.

En los próximos años se espera que entre en operación el mayor proyecto hidroeléctrico del país, la central hidroeléctrica de Ituango. Esta planta tendrá una capacidad de generación de 2,400 MW, que corresponde a casi el 14% de la capacidad nacional actual (Hidroeléctrica Ituango, 2016). Se esperaba que las operaciones comenzaran en 2018, pero debido a los graves problemas durante la construcción y a diferentes aspectos sociales y ambientales, esto no fue posible. Ahora, se espera que para 2021 este proyecto comience a generar electricidad y que esté en pleno funcionamiento para 2024 (López Suárez, 2020d). Esta central, junto con el resto de la energía hidroeléctrica instalada en el país, podría apoyar el

desarrollo de una cantidad importante de proyectos de energía renovable no convencional y limpiar aún más la matriz eléctrica del país.

Costa Rica tiene una de las matrices energéticas más limpias del mundo, con una participación de más del 98% de fuentes renovables y es un país que sirve como ejemplo de lo que Colombia podría lograr. Las fuentes de energía predominantes son la hidroeléctrica (67,5%), la eólica (17%) y la geotérmica (13,5%), y aunque el país tiene cierta capacidad instalada para generar energía a partir de combustibles fósiles (1,2%), en los últimos años casi no se ha utilizado (Grupo ICE, 2020). Las centrales hidroeléctricas costarricenses que pueden ser reguladas (centrales de embalse o de bombeo) se perciben como baterías que pueden acumular agua durante largos períodos y convertirla en electricidad cuando es necesario (Grupo ICE, 2015). Por lo tanto, Costa Rica utiliza esta fuente de energía como respaldo cuando la demanda nacional no puede ser cubierta por otras fuentes de energía debido a circunstancias climáticas.

Es claro que las condiciones ambientales y climáticas varían de país a país y que no hay una fórmula para lograr una matriz eléctrica 100% renovable. Sin embargo, Costa Rica no es el único país que ha logrado tener una matriz casi 100% renovable; Noruega, Uruguay, Paraguay e Islandia también han logrado alcanzar porcentajes muy similares. Hay que aclarar que, más allá de encontrar una sola tecnología o fuente de energía que funcione como respaldo, hay que encontrar la manera en la que las diferentes fuentes de energía se complementen. Estudios muestran que, para el caso específico de Colombia, las fuentes de energía renovable no convencionales junto con las centrales hidroeléctricas forman un complemento adecuado para lograr una matriz 100% renovable. Esto, pues está comprobado que, durante fuertes periodos de sequía o fenómenos de El Niño, cuando los reservorios de agua están bajos, la irradiación solar y la velocidad de los vientos es alta. En el caso opuesto, en periodos en los que hay poca irradiación solar y velocidades de los vientos bajas, el nivel de los reservorios es alto (Zapata, y otros, 2018; Henao, Viteri, Rodríguez, Gómez, & Dyner, 2020; Henao, Rodríguez, Viteri, & Dyner, 2018).

La complementariedad de la que se habla anteriormente, ha sido comprobada desde diferentes aspectos. Por ejemplo, periodos estacionales y pe-

riodos anuales e interanuales, en los que las condiciones climáticas pueden variar mucho y el país puede sufrir condiciones de largas sequías (Paredes & Ramírez C., 2017). Por otra parte, desde el factor del precio de la electricidad, el estudio realizado por Henao et al. (2020) demuestra que, si se tuviera una matriz 100% renovable, el precio de la electricidad disminuiría y se mantendría más constante, en comparación con la volatilidad actual que depende del precio y las reservas de los combustibles fósiles. Además, hay que resaltar los beneficios ambientales que puede generar una matriz 100% renovable, pues su implementación ocasionaría una reducción importante de las emisiones de GEI que genera el país (Zapata, y otros, 2018; Henao, Viteri, Rodríguez, Gómez, & Dyner, 2020; Henao, Rodríguez, Viteri, & Dyner, 2018).

b. ¿Qué papel juega el gas natural en la transición energética?

Algunos gobiernos, como el de Chile y Colombia, han considerado al gas natural como el combustible de la transición energética (Schmidt-Hebbel, Quiroz, Givovich, Rojas, & Araya, 2020; Ministerio de Minas y Energía, 2020). Las tres principales razones son que (a) ya existe una importante capacidad instalada para operar con este combustible, (b) mantiene un respaldo confiable, y (c) su quema genera entre un 40 y un 50% menos de emisiones en comparación con el carbón (Secretaría de Estado de Energía - España, 2020). Sin embargo, para Colombia esta consideración tiene problemas diferentes, ya que el suministro de este gas no está garantizado en el largo plazo, pues las actuales reservas nacionales de gas natural alcanzarían unos ocho años más (Presidencia de la República, 2020), y a pesar de que el gas natural genera menos emisiones que el carbón, se sigue considerando un combustible fósil que alejaría a Colombia del cumplimiento de su NDC. (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

En la subasta de cargo por confiabilidad del 2019, se evidenció que, por precio y disponibilidad, las tecnologías que utilizan gas natural y carbón podrían terminar siendo desplazadas por el inmenso potencial que tiene el país en renovables (Ministerio de Minas y Energía, 2019). Actualmente, existe una lista de proyectos renovables que en 10 años podrían representar una capacidad instalada adicional de 7.5 GW en la matriz energética. Además, la UPME afirma que para el 2050 es posible tener una ma-

triz energética altamente electrificada, en la que el transporte, la industria y los hogares hayan tenido una reducción significativa en el uso de combustibles fósiles para procesos térmicos (UPME, 2015).

En los próximos tres años se espera que entren en el mercado unos 10 proyectos térmicos de gas con una capacidad instalada de unos 840 MW (570 MW correspondientes a gas natural y 270 MW a GLP) (XM, 2019; Portafolio, 2020). Sin embargo, dado que Colombia no dispone de reservas de gas a largo plazo, los costos de operación de estas centrales pueden aumentar si hay que importar el combustible.

A corto y mediano plazo, es probable que las centrales térmicas de gas natural sigan utilizándose como fuente de respaldo para los nuevos proyectos energéticos. Sin embargo, a largo plazo, e incluso antes, es necesario reducir su uso y posiblemente eliminar estas centrales de gas natural para cumplir el compromiso de la última NDC. Dado que el país cuenta con el respaldo de sus centrales hidroeléctricas de embalse y también puede obtener energía firme de pequeñas centrales hidroeléctricas de filo de agua, centrales de biomasa y centrales geotérmicas, existen posibilidades de eliminar también el gas natural de la matriz energética nacional. Lo importante es empezar a cambiar la forma en que se utilizan las diferentes tecnologías que generan electricidad, para contar con el apoyo necesario y lograr una matriz energética más limpia que funcione principalmente a partir de fuentes renovables.

c. El hidrógeno verde como vector energético

Colombia está desarrollando una hoja de ruta para incluir el hidrógeno verde en su lista de energéticos renovables y sostenibles, que se espera que esté lista en el primer trimestre de 2021 (López Suárez, 2020c). El Ministerio de Minas y Energía considera que nuevas tecnologías, como el hidrógeno, ayudarán a consolidar la transición energética del país. El hidrógeno verde potencia las energías renovables al permitir almacenar los excedentes de energía generados por las fuentes renovables y permitir transformar el hidrógeno verde en electricidad, gas y calor, que pueden ser utilizados por diferentes industrias (Mesa Puyo, 2020). Además, la energía almacenada en forma de hidrógeno también podría funcionar como respaldo para la intermitencia de las energías renovables, ofreciendo así otra forma de alejarse de los combustibles fósiles y reducir las emisiones.



11. Precios de tecnologías convencionales vs no-convencionales

La subasta de energías renovables no convencionales de 2019 se cerró con un precio promedio ponderado de asignación de \$95.65 COP/kWh (\$28 USD/MWh) (Ministerio de Minas y Energía, 2019).

En el año 2020, el Costo Equivalente de Energía promedio del impuesto al Cargo por Confiabilidad (CEE), fue de \$62.93 COP/kWh (XM, 2020). Con este valor es posible obtener el precio aproximado de la energía proveniente de fuentes renovables no convencionales, que sería cercano a \$158.58 COP/kWh. Ahora bien, si se compara este valor con el precio de la electricidad en la bolsa del 25 de noviembre de 2020 (\$183.36 COP/kWh), registrado por la UPME (UPME, 2020), se puede demostrar que en el país las fuentes de energía renovable no convencionales ofrecen la posibilidad de generar energía a un precio menor que el de las fuentes convencionales que están incluidas en el valor de la bolsa (gas natural, hidroeléctrica, diésel, etc.). (Ministerio de Minas y Energía, 2019; UPME, 2020). Por el momento no es posible realizar una comparación de precios más detallada entre las fuentes renovables no convencionales y las convencionales, ya que los contratos bilaterales son privados y no es posible obtener información sobre los precios negociados. Sin embargo, el análisis hecho anteriormente es una muestra suficiente para demostrar que las fuentes renovables no convencionales ya pueden generar energía a precios más bajos que las tecnologías convencionales.

Debido a los excelentes resultados de las subastas de 2019, el gobierno está planeando emitir más de estos eventos en 2021, buscando introducir energía de menor precio y menores emisiones de carbono en la matriz energética del país.

Hay que aclarar que, según el Artículo 45 de la Ley 99 de 1993, las centrales térmicas tienen la obligación de transferir el 4% de las ventas brutas de energía por generación propia. Esta transferencia se realiza en un porcentaje determinado a los municipios y a la Corporación Autónoma Regional correspondiente (Congreso de Colombia, 1993). Ahora bien, el Artículo 289 de la Ley 1955 de 2019, obliga a los generadores que produzcan energía a partir de fuentes no convencionales, cuyas plantas cuenten con una potencia nominal instalada total que supera

los 10 MW, a pagar una transferencia equivalente al 1% de las ventas brutas de energía por generación propia (Congreso de Colombia, 2019). Aunque en comparación con las térmicas el porcentaje de la transferencia de las fuentes no convencionales es menor, la capacidad instalada de fuentes no convencionales que puede ser instalada en los próximos diez años (7,5 GW) podrá compensar la diferencia de dinero que le ingresa a los municipios por parte de las térmicas (López Arias, 2020). Por esto, no debería haber preocupaciones respecto a este factor.

12. Posición de las compañías generadoras de electricidad

Las empresas propietarias de las centrales térmicas de carbón que operan en Colombia tienen diferentes perspectivas respecto al abandono del carbón. Una revisión de la información disponible permite afirmar que hay algunas empresas que son flexibles para pasarse a generar a partir de fuentes de energía renovable, como EMGESA y GENSA, porque estas fuentes se volvieron muy competitivas en el mercado eléctrico colombiano, e incluso, ya tienen proyectos de este tipo dentro de su portafolio (Enel, 2018; Gensa, 2020).

Por el contrario, las empresas que dependen totalmente de las centrales de carbón, como GECELCA S.A, TermoTasajero S.A y la Compañía Eléctrica de Sochagota, no muestran planes ni interés en cambiar su tecnología, y siguen considerando las centrales de carbón como una fuente de ingresos confiable (Gecelca, 2020; CES, 2020; Termotasajero, 2020).

Es evidente que, si las empresas generadoras no cambian su modelo de negocio hacia la generación con tecnologías más limpias, como ya lo han hecho algunas, estas empresas no harán parte del futuro mercado eléctrico colombiano. Por esta razón, el gobierno debería ser el primero en dar el ejemplo de abandonar la generación de energía con carbón, dejando de lado las plantas en las que tiene alguna participación (como TermoPaipa-GENSA) y moviendo el negocio hacia las energías renovables.

13. ¿Cómo se están alejando del carbón los países de la región?

Uruguay es uno de los países de América Latina que cuenta con una de las matrices eléctricas más

limpias. En la actualidad, el 98% de su matriz está compuesta por energías renovables (principalmente hidroeléctrica y eólica) y sólo el 2% corresponde a combustibles fósiles (principalmente gas natural). Para conseguirlo, Uruguay pasó por un proceso de transición en el que dejó de depender de la electricidad de origen fósil que importaba de Argentina entre 1980 y 2000, y se convirtió en un país eléctricamente autónomo, produciendo energía a partir de sistemas hidráulicos y eólicos, e incluso exportando electricidad a Argentina y Brasil. Para esto, tuvo que alcanzar un consenso político que impulsó a la compañía eléctrica centralizada a firmar PPAs con los generadores y a financiar proyectos eólicos/hidráulicos. Por otra parte, estaba claro que la energía eólica era la opción más rentable, ya que Uruguay no dispone de grandes reservas de gas o petróleo. Además, al alejarse de estos combustibles, dejaría de estar sujeto a la volatilidad de sus precios (Correa & Dichiara, 2020).

Por su parte, Chile, en línea con sus compromisos con el Acuerdo de París, tiene previsto abandonar sus centrales eléctricas de carbón lo antes posible, con una fecha tentativa en 2025 y una fecha límite en 2040. Este compromiso se logró tras diálogos entre las partes públicas y privadas, que consideraron los siguientes puntos: (a) la comprensión y el compromiso social frente al cambio climático, (b) la posición de los inversionistas y de las empresas que estaban considerando comprometerse a reducir el uso de combustibles fósiles, y (c) el hecho de que las compañías mineras estaban demandando energía verde. Aunque el plan aún no está claro, Chile está trabajando para lograr su objetivo y, para ello, considera que el gas natural es el combustible de transición que le permitirá eliminar el carbón de su matriz (Díaz Borquez & Santander, 2020).

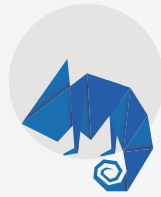
Un punto a tener en cuenta en el caso de Chile, es que el gobierno se propuso eliminar las centrales de carbón para 2025, pero los expertos locales en energía creen que es una meta muy improbable de lograr. Si se eliminaran las centrales térmicas de carbón de la matriz de generación eléctrica para 2025, los costos de la electricidad aumentarían, y la región norte del país quedaría con una red eléctrica muy débil. Además, las adversidades climáticas que pueden venir, como mayores sequías y menores deshielos, dificultan la fiabilidad de respaldo de las centrales hidroeléctricas. Por lo tanto, desde un punto

de vista técnico, es más probable que se eliminen las centrales de carbón entre 2028 y 2033, ya que para entonces se habrá reforzado la red eléctrica y se podrán transmitir más de 5,000 MW de energía renovable (Díaz Borquez & Santander, 2020).

Chile también ha considerado entre sus alternativas el uso de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS) o de captura y uso de carbono (CCU). Aunque estas tecnologías han sido consideradas como una solución para reducir las emisiones generadas por las diferentes centrales térmicas, el gobierno ha visto hasta ahora que estas tecnologías no son costo-eficientes. Es posible que estas alternativas puedan ser tenidas en cuenta en el futuro, sin embargo, actualmente el gobierno está enfocado en promover una inserción cada vez más masiva de energías renovables, habilitando condiciones regulatorias que permitan una mayor entrada de almacenamiento (por ejemplo, con hidrógeno), y haciendo énfasis en la modernización de la operación de la red eléctrica. Todo esto teniendo en cuenta que en el futuro Chile tendrá una gran cantidad de inversores electrónicos de potencia conectados, y, por lo tanto, puede haber una interesante innovación que permita dar seguridad a la red a través de dispositivos electrónicos, lo que a su vez implica necesariamente un mayor avance en la digitalización (Santander, 2021).

De cierta manera, países como Uruguay, Chile y Costa Rica, como se ha visto anteriormente, demuestran que es posible alejarse de la generación de energía a partir de combustibles fósiles, siempre y cuando exista el potencial necesario para generar a partir de fuentes renovables firmes. Ya sea que se haga por compromisos ambientales, por falta de grandes reservas de combustibles fósiles o por el deseo de dejar de depender de las importaciones de ellos y de sus precios volátiles, si se hacen planes técnicos y económicos para una transición energética gradual, se pueden eliminar las centrales térmicas de la matriz energética y lograr así una reducción significativa de las emisiones.

Está claro que hay ciertos retos técnicos que deben ser considerados a la hora de desarrollar los planes energéticos: los cambios en los precios de la electricidad, la estabilidad de la red y el respaldo energético para condiciones climáticas adversas. Para esto, el gobierno debe desempeñar un papel protagonis-



ta, ya que, al supervisar y liderar la planificación de la transición energética, debe llevar a cabo diálogos con las partes implicadas para promover la sostenibilidad, asegurar un servicio de electricidad estable y confiable, y promover y fomentar la instalación de nuevos proyectos de energía renovable.

14. Conclusiones & Recomendaciones

La matriz energética de Colombia es una de las más limpias del mundo. En el año 2019, más del 75% de la electricidad fue generada a partir de fuentes renovables, principalmente hidroeléctricas. No obstante, el país sigue dependiendo del respaldo generado por las centrales termoeléctricas a base de carbón y gas natural, que representan cerca del 30% de la capacidad instalada a nivel nacional. Este tipo de centrales ha permitido que el país cuente con electricidad en épocas de fuertes sequías, cuando las centrales hidroeléctricas no pueden cubrir la demanda. Sin embargo, la generación de electricidad con este tipo de tecnología es responsable, en parte, de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por el país. Adicionalmente, dado que Colombia no cuenta con grandes reservas de gas natural y que el mercado y la producción de carbón se están reduciendo, es importante analizar si estas centrales termoeléctricas serán económica y ambientalmente sostenibles en un futuro cercano.

En Colombia prácticamente se han detenido los proyectos de generación a base de carbón y parece que en los próximos años no habrá nuevos proyectos de generación a base de este mineral. En cuanto a las centrales termoeléctricas a base de gas natural, hay varios proyectos que van avanzando poco a poco. Se espera que en los próximos años se pongan en funcionamiento unos 570 MW de centrales a base de gas natural. Sin embargo, no se puede depender de esta fuente de energía a largo plazo. Al fin y al cabo, aparte de que su combustión va en contra de los objetivos climáticos del país, en Colombia hay pocos años de reservas de gas natural.

A partir de la primera subasta de energías renovables no convencionales en 2019, el país ha desarrollado planes e incentivos para la instalación de este tipo de fuentes de energía, que permiten generar electricidad a un menor costo que con los combustibles fósiles. Este aumento de la instalación de

fuentes renovables no convencionales permitiría, en efecto, una mayor diversificación de la matriz energética.

Colombia debe resolver el tema del respaldo a través de diversas opciones, pero principalmente encontrando una combinación de fuentes de energía que se adapte a las necesidades y condiciones del país. En Colombia, las centrales hidroeléctricas funcionan como una fuente de energía firme, sin embargo, este tipo de tecnología puede ser regulada y administrada según las necesidades eléctricas y las condiciones climáticas. Por otra parte, la complementariedad que se puede generar entre las centrales hidroeléctricas y las fuentes de energía no convencionales puede garantizar que el país deje de depender de las centrales térmicas y obtenga una matriz energética aún más limpia.

Países como Chile y Uruguay han logrado llegar a la situación actual y han logrado elaborar los planes actuales porque el gobierno ha sido el líder de la transición energética y ha (a) incluido a todos los sectores que podrían verse afectados por la eliminación de la generación de combustibles fósiles, (b) otorgado un servicio eléctrico estable y confiable, y (c) promovido la instalación de proyectos renovables. Estos países, entre muchos otros, son un gran ejemplo de que es posible alejarse del carbón y dejar de depender de este mineral que tanto contamina al mundo. Aunque Colombia no puede replicar de manera idéntica los planes de estos países, sí puede tomar las lecciones y ejemplos de su transición energética y desarrollar un plan que se ajuste a las condiciones y necesidades nacionales.

En conclusión, Colombia está en capacidad y tiene un gran potencial para poder dejar de lado, en el corto plazo, sus plantas termoeléctricas a base de carbón y, en el mediano plazo, sus plantas de gas natural. Para esto, el país debe incluir planes para la eliminación de las tecnologías basadas en combustibles fósiles en los próximos planes energéticos y NDCs. Con esto, será posible lograr una matriz energética más diversificada y limpia, que contribuya a la reducción de las emisiones nacionales de GEI y permita abastecer las necesidades eléctricas del país. ◆

Referencias

ACOLGEN. (2019). *Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica*. Obtenido de Capacidad instalada en Colombia: <https://www.acolgen.org.co/>

Agencia Nacional de Minería. (2017). *Ficha Carbón*. Agencia Nacional de Minería. Obtenido de https://www.anm.gov.co/sites/default/files/ficha_carbon_es.pdf

Alarcón, A. D. (18 de Junio de 2019). *Energía para el futuro - BID*. Obtenido de Las hidroeléctricas en Latinoamérica, ¿dónde estamos? y ¿hacia dónde vamos?: <https://blogs.iadb.org/energia/es/hidroelectricas-en-latinoamerica-donde-estamos-y-hacia-donde-vamos/>

ANLA. (2020). *Portal Vital*. Obtenido de http://vital.minambiente.gov.co/SILPA_UT_PRE/ReporteTramite/ReporteTramiteCP.aspx

BP. (2020). *Statistical Review of World Energy*. Obtenido de <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>

CES. (2020). *Sochagota*. Obtenido de A la comunidad: <http://www.ces.com.co/InformacionGeneral/AComunidad>

Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>

Congreso de Colombia. (2019). *Ley 1955 de 2019*. Obtenido de <http://www.suin-juriscol.gov.co/view-Document.asp?ruta=Leyes/30036488>

Consortio SERGEING - SISOCOAL - RMR. (2016). *Informe Final*. Obtenido de <https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1323/1/Informe%20Final.pdf>

Correa, C., & Dichiará, L. (16 de Diciembre de 2020). *Intercambio Política Energética Uruguay*. (Transforma, Entrevistador)

Díaz Borquez, F. A., & Santander, A. (17 de Diciembre de 2020). *Política energética Centrales de Carbón en Chile*. (Transforma, Entrevistador)

Enel. (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 2020, de <https://www.enel.com.co/es/medio-ambiente-desarrollo-sostenible/objetivos-de-desarrollo-sostenible.html>

Enerdata. (2020). *Anuario estadístico mundial de energía 2020*. Obtenido de Emisiones de CO2 procedentes de la combustión de combustibles: <https://datos.enerdata.net/quema-co2-combustible/emisiones-CO2-procedentes-quema-combustible.html>

Gecelca. (2020). <https://www.gecelca.com.co/index.php/generacion>. Obtenido de <https://www.gecelca.com.co/index.php/generacion>

Gensa. (2020). *Informe de Sostenibilidad 2019*. Obtenido de http://www.gensa.com.co/wp-content/uploads/2020/03/Informe-Sostenibilidad2019_final.pdf

Gobierno de Colombia. (2020). *Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC)*. Obtenido de <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Colombia%20First/NDC%20actualizada%20de%20Colombia.pdf>

Grupo ICE. (2015). *Costa Rica: Matriz eléctrica. Un modelo sostenible, único en el mundo*. Obtenido de https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/8823524c-7cc7-4cef-abde-a1f06e14da0e/matriz_folleto_web2.pdf?MOD=AJPERES&CVID=l8SK4gG

Grupo ICE. (2020). *Somos electricidad renovable y solidaria*. Obtenido de https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/7a3172c0-b703-4bbf-9d61-b363e822f1c1/Fasciculo_Electricidad_2020_compressed.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m.pLjj8

Henaó, F., Rodríguez, Y., Viteri, J. P., & Dyner, I. (30 de Julio de 2018). *Optimising the insertion of renewables in the Colombian power sector*. *Renewable Energy*, 81-92.

Henaó, F., Viteri, J. P., Rodríguez, Y., Gómez, J., & Dyner, I. (26 de Agosto de 2020). *Annual and interannual complementarities of renewable energy sources in Colombia*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Hidroeléctrica Ituango. (2016). *Hidroeléctrica Ituango*. Obtenido de Proyecto Hidroeléctrico Ituango:h



<https://www.hidroituango.com.co/proyectos/proyecto-hidroelectrico-ituango/38>

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2018). *Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC*. Gobierno de Colombia. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2018). *Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC*. Gobierno de Colombia. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54

IEA. (2020, February 11). *Global CO2 emissions in 2019*. Retrieved from <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>

IRENA. (2019). *Renewable power generation costs in 2018*. International Renewable Energy Agency. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf

IRENA. (2020). *Renewable Power Generation Costs in 2019*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Retrieved from https://www.powermag.com/wp-content/uploads/2020/06/irena_power_generation_costs_2019.pdf

López Arias, S. (2020). *Evaluación de las transferencias del sector eléctrico bajo el esquema de la resolución CREG 010 de 2018*. Universidad Nacional. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76084>

López Suárez, A. (15 de Diciembre de 2020c). *El país traza línea para uso de hidrógeno como combustible*. Portafolio. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/colombia-traza-linea-para-uso-de-hidrogeno-como-combustible-547552>

López Suárez, A. (27 de Abril de 2020d). *Hidroituango confirma que generará energía desde el 2021*. Portafolio. Obtenido de <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/hidroituango-confirma-que-generara-energia-desde-el-2021-540303>

Mesa Puyo, D. (2020). *Transición energética: una realidad en Colombia*. Ministerio de Minas y Energía. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24214877/presentacion+foro+hidrogeno.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (22 de Octubre de 2019). *Día histórico para las energías renovables en Colombia: por primera vez, la energía del sol y del viento llegará, a precios más bajos, a los hogares colombianos*. Obtenido de Histórico de Noticias: <https://www.minenergia.gov.co/en/historico-de-noticias;jsessionid=dpSsADahvyMHIFpFBOLg9J6S.portal2?idNoticia=24146550>

Ministerio de Minas y Energía. (2020). *La Transición energética de Colombia - Memorias al Congreso*. Retrieved from <https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24226685/MemoriasCongresoME-2020.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (2020). *La Transición energética de Colombia - Memorias al Congreso*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24226685/MemoriasCongresoME-2020.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (3 de Marzo de 2021). *Histórico de Noticias*. Obtenido de Antes de 2050 el sector eléctrico colombiano será carbono neutral: <https://www.minenergia.gov.co/en/historico-de-noticias;jsessionid=DwC-TOesSFIq8S8E5uByS7e7.portal2?idNoticia=24274813#:~:text=Antes%20de%202050%20el%20sector%20el%C3%A9ctrico%20colombiano%20ser%C3%A1%20carbono%20neutral&text=Con%20la%20firma%20de%20la,neu>

Nugent, C. (2020, February 11). 'Grounds for Optimism.' *Global CO2 Emissions Plateaued in 2019, Defying Expectations, Says Report*. Time. Retrieved from <https://time.com/5782089/iea-emissions-energy-climate-change/>

Paredes, J. R., & Ramírez C., J. J. (2017). *Energías renovables variables y su contribución a la seguridad energética: complementariedad en Colombia*. Banco Interamericano de Desarrollo. Obtenido de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/17221/energias-renovables-variables-y-su-contribucion-la-seguridad-energetica>

Planas Marti, M. A., & Cárdenas, J. C. (26 de Marzo de 2019). *La matriz energética de Colombia se renueva*. Energía para el futuro - BID. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/#comments>

Portafolio. (06 de Marzo de 2018). *El carbón seguirá mandando en la generación de energía*. Portafolio. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/el-carbon-seguira-mandando-en-la-generacion-de-energia-514971>

Portafolio. (24 de Mayo de 2018). *TermoTasajero III cancela su proyecto para la generación de energía*. Portafolio. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/termotasajero-iii-cancela-su-proyecto-para-la-generacion-de-energia-517463>

Portafolio. (8 de Septiembre de 2019). *El complejo termoelectrico 'La Luna' ya tiene luz verde*. Portafolio. Obtenido de <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/el-complejo-termoelectrico-la-luna-ya-tiene-luz-verde-533361>

Portafolio. (2020). *Alistan 1.000 megas térmicas como respaldo en generación*. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/alistan-1-000-megas-termicas-como-respaldo-en-generacion-de-energia-electrica-en-colombia-546478>

Portafolio. (3 de Junio de 2020). *Con 48 térmicas se reforzará la matriz de generación eléctrica*. Portafolio. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/con-48-termicas-se-reforzara-la-matriz-de-generacion-electrica-541424>

Presidencia de la República. (2020). *Reservas probadas de petróleo en Colombia aumentaron a 6,3 años al cierre de 2019*. Minenergía. Obtenido de <https://id.presidencia.gov.co/Paginas/prensa/2020/Reservas-probadas-de-petroleo-en-Colombia-aumentaron-a-6-3-anios-al-cierre-de-2019-200430.aspx>

ProColombia. (2020, May 06). *Potencial para desarrollar energías renovables en Colombia atrae a inversionistas extranjeros*. Retrieved from <https://procolombia.co/noticias/potencial-para-desarrollar-energias-renovables-en-colombia-atrae-inversionistas-extranjeros>

Redacción BIBO. (22 de Agosto de 2019). *¿Colombia tiene potencial en fuentes de energía renovables?* El Espectador. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/colombia-tiene-potencial-en-fuentes-de-energia-renovables/>

Santander, A. (03 de Marzo de 2021). *Tecnologías de CCS y CCU en Chile*. (Transforma, Entrevistador)

Schmidt-Hebbel, K., Quiroz, J., Givovich, F., Rojas, M., & Araya, F. (2020). *El rol del gas natural en la transición energética: Chile 2020-2050*. Obtenido de <https://media.elmostrador.cl/2020/07/Estudio-completo.pdf>

Secretaría de Estado de Energía - España. (2020). *El Gas Natural*. Obtenido de Gas Natural y Medio Ambiente: <https://energia.gob.es/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx>

Semana. (11 de Abril de 2015). *Curiosidades del gran apagón que amenaza con repetirse*. Semana. Obtenido de <https://www.semana.com/nacion/articulo/asi-fue-el-rationamiento-de-energia-en-1992-en-el-gobierno-de-cesar-gaviria/448643-3/#:~:text=En%201992%20se%20dio%20el,horas%20al%20caer%20la%20noche.&text=%C2%B7%20Juan%20Manuel%20Santos%2C%20el%20entonces,como%20s>

Termotasajero. (2020). *Termotasajero*. Obtenido de http://www.termotasajero.com.co/page/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=35

U.S Energy Information Administration. (20 de Febrero de 2020). *How much carbon dioxide is produced per kilowatthour of U.S. electricity generation?* Obtenido de <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11#:~:text=In%202018%2C%20total%20U.S.%20electricity,of%20CO2%20emissions%20per%20kWh.>

UPME. (2015). *Plan Energético Nacional - Colombia: Ideario Energético 2050*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Documents/PRESENTACION_PLAN_ENERGETICO_2050.pdf

UPME. (2016). *Plan de Expansión de Referencia Generación - Transmisión 2015-2029*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Pla



nes-expansion/Plan-Expansion-2015-2029/Plan_GT_2015-2029_VF_22-12-2015.pdf

UPME. (2018). *Plan de Expansión de Referencia Generación - Transmisión 2017-2031*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Plan_GT_2017_2031_PREL.pdf

UPME. (2019). *Metodología y resultados de la estimación del Índice de Cobertura de Energía Eléctrica ICEE - 2018*. Obtenido de http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/o/Piec/Anexo3_Metodologia_ICEE_2018_paraComentariosDic5.pdf

UPME. (2019). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia*. Obtenido de http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/Proyeccion_Demanda_Energia_Oct_2019.pdf

UPME. (2020). *Conceptos de Conexión de Proyectos de Generación - Reporte 64*.

UPME. (2020). *Informe de Registro de Proyectos de Generación - Semana 48 del 2020*. Obtenido de <http://www.siel.gov.co/Inicio/Generaci%C3%B3n/Inscripci%C3%B3ndeproyectosdeGeneraci%C3%B3n/tabid/113/Default.aspx>

UPME. (2020). *Plan de Expansión de Referencia Generación - Transmisión 2019-2033*. Obtenido de https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24128710/Plan+GT+2019+-2033_SOLOTRANSMISION_vdef.pdf

UPME. (2020). *Proyección Demanda de Energéticos ante el COVID-19 2020-2026*. Obtenido de http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2020.pdf

UPME. (25 de Noviembre de 2020). UPME. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/Paginas/default.aspx>

UPME. (2021). *Plan Energético Nacional 2020-2050*. Retrieved from https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf

XM. (2019). *Resultados generales subasta OEF 2022-2023*. Obtenido de <https://www.xm.com.co/Resultado%20subasta%20carga%20por%20confiabilidad/ResultadosSubasta%20OEF22-23.pdf>

XM. (2020). *Costo equivalente de energía - CEE*. Obtenido de <https://www.xm.com.co/Paginas/Operacion/Costo-equivalente-energia.aspx?RootFolder=%2Fcostoequivalentedeenergiacee%2F2020&FolderCTID=0x012000FE36631A3806CB-45B3EBA1E0337324A9&View={0E47D047-9492-4522-8880-F500BB6B1473}>

XM. (2020). *Históricos Emisiones 2019 - Portal BI*. Obtenido de http://portalbissrs.xm.com.co/oferta/Paginas/Historicos/Historicos.aspx#InplviewHash946210c0-4071-4173-964c-ed5bcce4e66c=Page%3DTRUE-p_SortBehavior%3D0-p_FileLeafRef%3DDisponibilidad%255fReal%255f%2528Porcentaje%2529%255f2019%252exlsx-p_ID%3D293-PageFirs

XM. (2020). *Reporte integral de sostenibilidad, operación y mercado 2019*. Obtenido de https://informe-anual.xm.com.co/demo_3/pages/general/home.html

Zapata, S., Castaneda, M., Jimenez, M., Aristizabal, A. J., Franco, C. J., & Dyner, I. (17 de Octubre de 2018). *Long-term effects of 100% renewable generation on the Colombian power market*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 183-191.

Este documento de política pública hace parte de una serie de documentos generados en el primer trimestre de 2021 desde el centro de pensamiento TRANSFORMA, sobre el sector de carbón en Colombia. Los documentos analizan la producción y el mercado actual del carbón, su consumo para generación eléctrica asociado a la transición energética, su participación en los aspectos fiscales, la eliminación gradual de la minería de carbón con enfoque de transición justa y el papel del financiamiento privado en este sector. Los documentos fueron elaborados por Juan Uribe Barcha, Felipe Bonilla Walker, Andrea Perez Limas, Lina Puerto, Valentina Sanmiguel y Giovanni Pabón Restrepo.