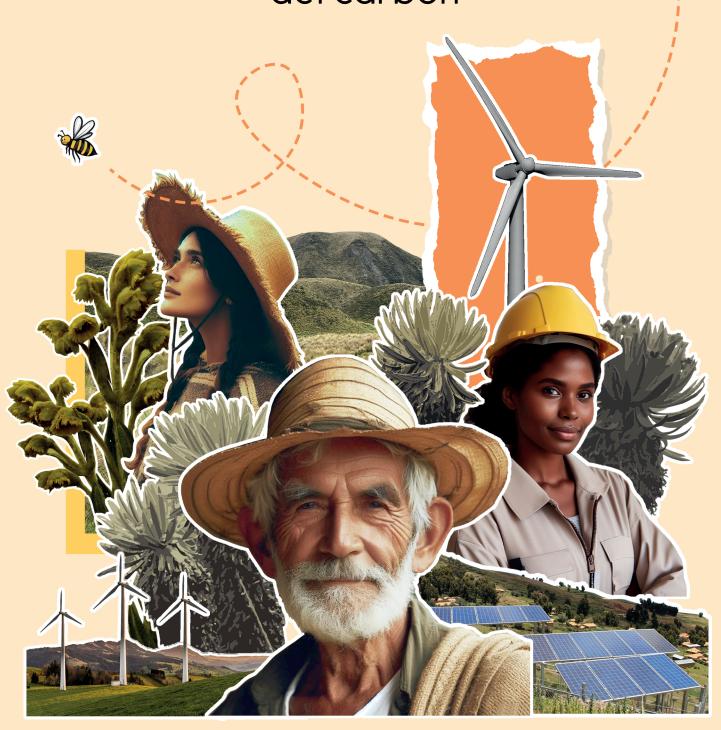
Colombia tiene las condiciones

para una transición planeada y progresiva del sector eléctrico más allá del carbón





Colombia tiene las condiciones para una transición del sector eléctrico planeada y progresiva más allá del carbón

Corporación para el Desarrollo de Políticas Energéticas para las Transiciones Justas, POLEN Transiciones Justas

Bogotá - Colombia, agosto 2023

www.polentj.org

Autores:

Combariza Diaz Nadia Catalina

https://orcid.org/0000-0002-4109-8695

Huertas Bolaños Maria Elena

(b) https://orcid.org/0000-0001-7278-5562

Vega-Noguera Mateo

https://orcid.org/0000-0002-2823-8024

Villegas-Mendoza Mariana

https://orcid.org/0009-0009-5459-1823

Editora:

Quiceno Soto Grace

https://orcid.org/0000-0002-4436-5808

Diseño y diagramación:

Grafoscopio SAS

Diseño de Portada:

Cristian Porte

Con apoyo de:

HEINRICH BÖLL STIFTUNG
BOGOTÁ

Las opiniones o posiciones expresadas en este documento no comprometen ni necesariamente representan el pensamiento de la Fundación Heinrich Böll - Oficina Bogotá, Colombia.

Agradecimientos:

Los autores dan un especial agradecimiento a Paola Yanguas de Fossil Exit, Jose Vega del SEI Latinoamérica y Jonathan Sánchez del WWF Colombia, por sus comentarios en versiones tempranas de este documento que ayudaron a enriquecer el análisis.POLEN Transiciones Justas es un centro de pensamiento que busca informar e incidir en las políticas públicas y los procesos de toma de decisiones en materia de política energética en Colombia. Su razón de existir es propender por una sociedad más justa, equitativa y resiliente.

Cítese como:

POLEN Transiciones Justas. (2023). Colombia tiene las condiciones para una transición del sector eléctrico planeada y progresiva más allá del carbón.





Esta es una obra de acceso abierto distribuida bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed. es). Los usuarios pueden reproducir, distribuir, adaptar y desarrollar el contenido de la obra original, conforme a los términos de la licencia mencionada. POLEN

Transiciones Justas debe ser claramente reconocido como titular de la obra original. Los usuarios no están autorizados a reproducir el logo de POLEN Transiciones Justas en sus obras.

Colombia tiene las condiciones para una transición planeada y progresiva del sector eléctrico más allá del carbón



Abreviaciones

CAR Corporaciones Autónomas Regionales

COP Peso colombiano

CxC Cargo por Confiabilidad

ENFIC Energía Firme para el Cargo por Confiabilidad

E2050 Estrategia climática de largo plazo a 2050

FNCERFuentes No Convencionales de Energía Renovable

GEI Gases Efecto Invernadero

GW Gigavatio

GWh Gigavatio por hora

IRENA Agencia Internacional de Energías Renovables

kW Kilovatio

MEM Mercado de energía mayorista

MW Megavatio

MWh Megavatio por hora

NOAA Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica

OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

OEF Obligación de Energía en Firme

PNUMAPrograma de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PPCA Alianza del Retiro Progresivo del Carbón

RRID Remuneración Real Individual Diaria

SIN Sistema Interconectado Nacional

UPME Unidad de Planeación Minero-Energética

USD Dólar estadounidense

XM Operador del Sistema Interconectado y administrador del Mercado de Energía Mayorista de Colombia

Resumen Ejecutivo

En un contexto global donde la búsqueda de la sostenibilidad se erige como un imperativo, la Agencia Internacional de Energía (AIE), en su escenario de cero emisiones netas de dióxido de carbono (CO2)¹, proyecta que para el 2040, la matriz eléctrica mundial prescindirá de las termoeléctricas a carbón. Esta determinación se presenta como un cimiento fundamental para lograr una estabilización de la temperatura planetaria en 1.5 °C al 2050², respecto a los niveles preindustriales. En la misma línea, la Estrategia Climática de Largo Plazo de Colombia (E2050) es clara: para alcanzar un futuro carbono neutral, "la demanda (final) de energía debe migrar hacia la electricidad".

Bajo ese escenario, el sector eléctrico se enfrenta a un desafío de gran magnitud: garantizar un suministro de electricidad renovable, confiable y asequible. Sin embargo, la transición no debe limitarse únicamente a estos aspectos técnicos. Es imperativo que esta

transformación se realice de manera justa, vinculando a todos los actores involucrados.

En un entorno donde la generación de electricidad a partir del carbón se torna cada vez más costosa y menos competitiva en comparación con las alternativas renovables, se plantea la pregunta fundamental: ¿Sigue teniendo sentido generar electricidad a base de carbón? Son cada vez más los estudios que indican que la transición hacia fuentes no convencionales de energía renovables (FNCER) ofrece beneficios significativos en términos de costos³, generación de empleo y reducción de emisiones⁴, presentándose como una opción más viable y coherente.

Este documento expone las razones que respaldan la necesidad de emprender una transición planificada más allá del carbón en la generación de electricidad en Colombia. Además, se presentan puntos clave, así como acciones transversales que fundamentan la viabilidad y el éxito de esta transición.

1.

Panorama de las termoeléctricas a carbón en Colombia Colombia cuenta con 14 unidades termoeléctricas a carbón, sujetas al despacho centralizado e integradas al Sistema Interconectado Nacional (SIN)⁵. Su capacidad efectiva neta es de 1.631 MW, que corresponde al 8,69% del SIN hasta diciembre de 2022⁶. En la Figura 1 se observa su ubicación en cinco departamentos del país, que para este análisis se agrupan en dos zonas: zona Caribe (Córdoba y La Guajira), y zona Andina (Norte de Santander, Cundinamarca y Boyacá).

Localización y características de las termoeléctricas a base de carbón en colombia

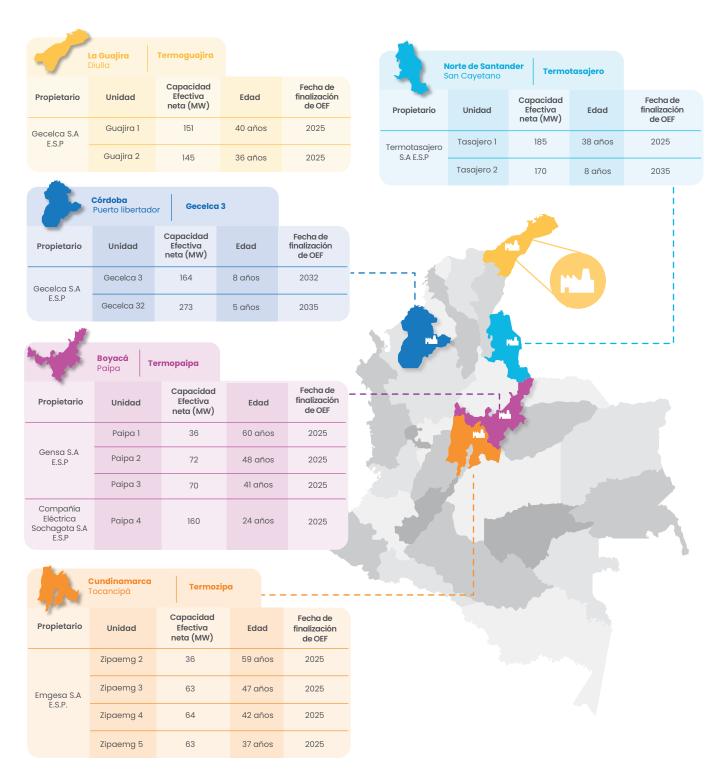


Figura 1. Localización y características de las termoeléctricas a base de carbón en Colombia. Donde OEF significa Obligación de Energía Firme. Fuente: XM (2023)^{7/8}

2.

Las termoeléctricas a carbón en Colombia son antiguas y cada vez más obsoletas

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la vida útil recomendada para una termoeléctrica a carbón es de aproximadamente 40 años⁹. En Colombia, nueve de las 14 unidades a carbón activas, es decir, el 64%, tienen edades superiores a los 30 años y equivalen al 49% de la capacidad efectiva neta instalada de carbón. Incluso, seis de las 14 unidades a carbón (equivalentes al 43%) tienen edades superiores a los 40 años (ver Figura 2). La edad avanzada de las termoeléctricas a carbón acarrea problemas, tales como las altas inversiones en mantenimiento y optimización, baja eficiencia en la generación de electricidad, baja flexibilidad y un mayor grado de contaminación.

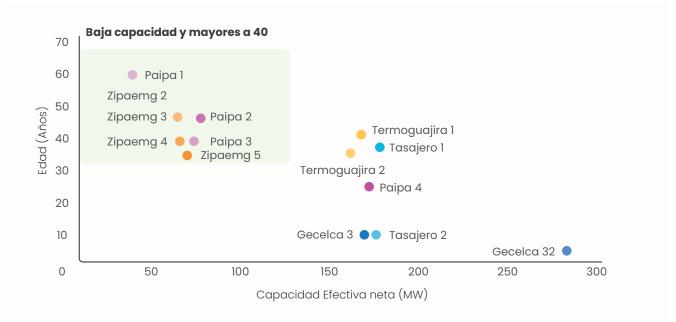


Figura 2. Capacidad efectiva neta respecto a la edad de las unidades térmicas a carbón en Colombia. Nota: Paipa 1 y Zipaemg2 tienen 60 años y una capacidad efectiva neta de 36 MW

Adicional a la edad del parque carboeléctrico en Colombia, también es relevante relacionarlo con su utilización. En la Figura 3 se observa, en colores, la generación de cada una de las unidades térmicas a carbón en los últimos cinco años. Con esta información se llega a dos conclusiones: (i) las unidades que aportan menos

electricidad al SIN son las que tienen mayor edad y se encuentran en la zona Andina (Paipa 1, 2 y 3, y Zipaemg 2, 3, 4 y 5); (ii) las unidades en la zona Caribe (color naranja) aportan electricidad al SIN de forma más frecuente que las termoeléctricas en la zona Andina (color verde).

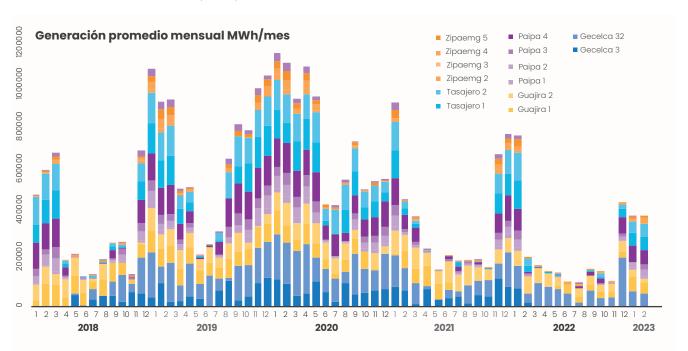


Figura 3. Generación de las termoeléctricas a carbón que aportan al SIN durante los últimos 5 años. En verde las termoeléctricas en la región Andina y en naranja las termoeléctricas en la región caribe. Fuente autores con datos de XM.



Sin embargo, los patrones de operación de las termoeléctricas a carbón dependen de múltiples variables en la operación del SIN. Uno de los más importantes es su complementariedad con la energía hidroeléctrica, que para el año 2022 representó el 77,12% de la generación del país. En los últimos cinco años, el aporte del carbón ha oscilado entre el 4%

y el 12% (2.348,15 y 8.565,51 GWh/año respectivamente) del total de electricidad generada dependiendo principalmente de si es un año seco o un año con mayores precipitaciones (ver figura 4). Hasta ahora, los periodos de sequía han sido el argumento principal para mantener la capacidad instalada de termoeléctricas a carbón. Por ejemplo, la disminución de las precipitaciones por periodos prolongados, característico del fenómeno de El Niño, conlleva a un desabastecimiento de los embalses de las hidroeléctricas. En esos casos, la termoelectricidad ha sido el respaldo para suplir la demanda de electricidad.

La Figura 4 presenta en la parte superior los periodos cuando se ha presentado un fenómeno de El Niño o La Niña. Esto sucede cuando el índice ENSO¹⁰ supera 0,5 (El Niño) o decrece por debajo de -0,5 (La Niña). La parte inferior de la gráfica presenta la generación a partir de carbón, en estos mismos periodos. Aunque se puede observar que en los periodos de fenómeno de La Niña disminuye la generación a partir de carbón, hay otros momentos, como en febrero de 2021 y entre diciembre de 2021 y febrero de 2022, donde la generación de electricidad a partir de carbón incrementó. Esto sugiere que existen otros factores, adicionales al nivel de los embalses, que, aunque en menor medida, también influyen en los patrones de despacho¹¹ de electricidad a partir del carbón.

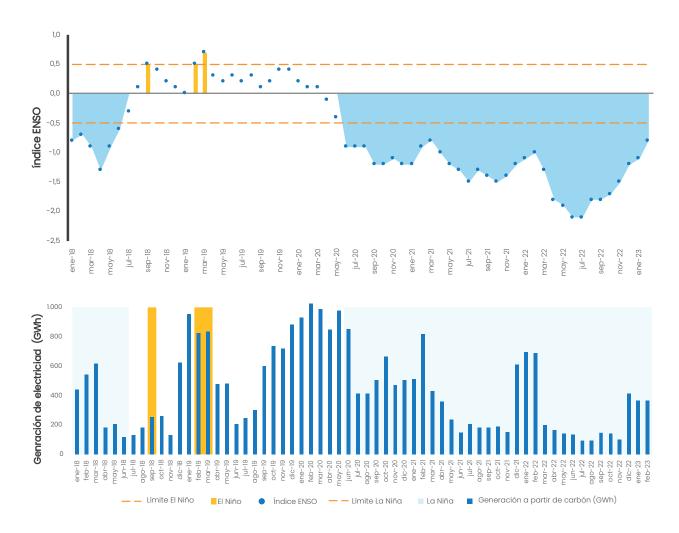


Figura 4. Índice ENSO y generación de energía eléctrica a partir de carbón. Franjas azules representan periodos de fenómeno de La Niña, franja amarilla fenómeno de El Niño. Fuente: XM (2023)¹² y NOAA (2023)¹³



3.

Sin carbón en el sector eléctrico, Colombia puede reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y tener un ambiente más sano

El acoplamiento de sectores (en *inglés sector coupling*) es una de las medidas más promovidas para descarbonizar otros sectores por medio de la electrificación de gran parte de sus actividades.

Sin embargo, para garantizar que esta electrificación conlleve a una disminución en las emisiones, se necesita que la composición de la matriz sea mayoritariamente de fuentes renovables. En la Figura 5 se observa que, de los combustibles usados para generar electricidad en el SIN de Colombia, el carbón es el

que aporta más emisiones de gases de efecto invernadero -GEI- (expresado en CO2 equivalente). Además, en los años donde hay más generación de electricidad a partir de carbón (puntos rojos en la Figura 5), las emisiones de GEI del sector eléctrico se incrementan considerablemente. Por lo anterior, tener una matriz sin participación de las termoeléctricas a carbón es un paso significativo para impulsar no solo la descarbonización del sector eléctrico, sino también del sistema energético.

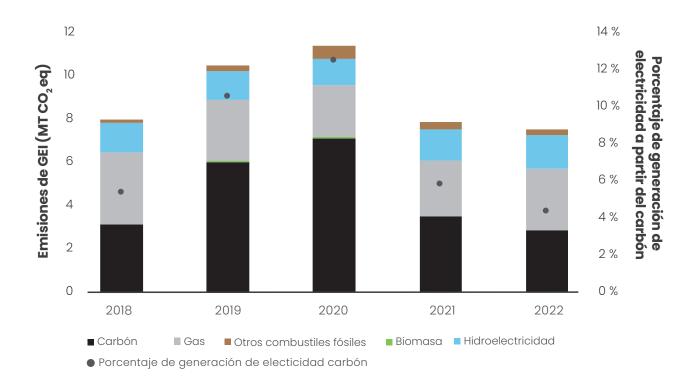


Figura 5. Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) del sector eléctrico vs porcentaje de generación de electricidad a partir de carbón en Colombia. Fuente: Ember (2023)¹⁴

Aunque el GEI más mencionado es el dióxido de carbono (CO₂), por sus efectos en el calentamiento global, sin desconocer la emisión y efectos de otros GEI como el metano (CH4) y el óxido nitroso (N2O), las termoeléctricas a carbón también emiten contaminantes atmosféricos, tales como dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) y material particulado (PM2.5 y PM10)¹⁵, asociados principalmente a problemas de salud respiratoria y cardiovascular. Adicionalmente, la quema de carbón en las termoeléctrica genera la emisión de mercurio (Hg), cuantificadas en 492 ton Hg/año¹⁶. El mercurio es tóxico para los sistemas inmunitario y

nervioso, la piel, el aparato digestivo, los ojos y los riñones, al igual que pone en riesgo el desarrollo intrauterino¹⁷.

Por tanto, además de la emisión de GEI, la generación de electricidad a partir de carbón acarrea impactos negativos en el ambiente y en la salud de la población, durante todas las etapas de su ciclo de vida: extracción, transporte, combustión y post combustión (en este último caso por la emisión de cenizas). La ceniza resultante de la combustión del carbón puede causar enfermedades respiratorias y cardiovasculares (relacionadas con la emisión de partículas)¹⁸. La ceniza que es capturada

a través de los sistemas de control de emisiones es almacenada en patios de ceniza, que requieren de un continuo mantenimiento, de lo contrario dada su alta solubilidad en el agua, puede contaminar ríos y otros cuerpos de agua.¹⁹

Las termoeléctricas a carbón utilizan agua, tanto para producir el vapor que mueve las turbinas para generar electricidad, como para sus procesos de enfriamiento. El agua es captada de ríos, embalses, aguas subterráneas, o en algunos casos el mar (como en el caso de Termoguajira²⁰). Posteriormente, esta es vertida en esos mismos cuerpos de agua u otros

exponiéndolos a potenciales cambios físicos (p.ej. aumentos en temperatura) y químicos (p.ej. cambio de concentración de elementos químicos, cambios en pH, etc.) que pueden alterar los ecosistemas acuáticos (p.ej. cantidad de peces).

Pese a que existen normas en Colombia para controlar la calidad del aire y la cantidad y calidad del agua, los riesgos asociados a la generación de electricidad a carbón son considerablemente altos²¹ si se compara con otras fuentes renovables de generación de electricidad.²²



4.

El cargo por confiabilidad en Colombia, un mecanismo mediante el cual todos los usuarios regulados financian el carbón

El cargo por confiabilidad (CxC) es un mecanismo regulatorio creado en 2006, con el objetivo de garantizar el suministro futuro, seguro y confiable de electricidad, a un precio máximo (cap o techo), durante periodos de escasez asociados a una condición crítica de abastecimiento (por ejemplo, cuando los recursos hídricos del país escasean, durante el fenómeno de El Niño). El esquema del CxC, cuya finalidad se relaciona con la noción de seguridad energética, parte de la asignación de ciertas Obligaciones de Energía Firme²³ (OEF) a aquellos generadores cuyas plantas pueden ofrecer confiabilidad al sistema. Esta confiabilidad se dimensiona en función de la Energía Firme para el CxC (ENFICC), definida como la máxima energía eléctrica que es capaz de entregar una planta continuamente, en condiciones de baja hidrología y para periodos de un año.

El CxC es, entonces, la remuneración (en pesos colombianos -COP- por MWh) que se paga a los generadores que han recibido asignaciones de OEF, a través de cualquiera de los tres mecanismos establecidos en la regulación (el mecanismo de asignación administrada, el de subastas de expansión y el de tomadores del CxC). A diferencia de otros mecanismos que remuneran la capacidad instalada por sí sola (p.ej., el mecanismo de cargo por capacidad que fue reemplazado por el CxC),

el CxC remunera el compromiso asumido por los generadores de efectivamente entregar al sistema la cantidad de energía eléctrica que corresponda a cada OEF asignada, cuando se cumpla una condición específica: que el precio de la energía en la bolsa (mercado spot) supere el precio de escasez definido en la regulación y actualizado mensualmente. Un estudio publicado en 2013, por la Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (Fedesarrollo), indicó que los proyectos que más se han beneficiado con el CxC son las termoeléctricas a carbón, cuya tasa interna

de retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN) se han incrementado sustancialmente gracias a dicha remuneración.²⁴

En línea con lo anterior, en los últimos cinco años Colombia ha pagado más de 23 billones de pesos en CxC, de los cuales 3,3 billones correspondieron a las termoeléctricas a carbón (ver Figura 6), remuneración que ha venido aumentado en el tiempo y que es pagada directamente por los usuarios regulados, como parte del costo unitario de la energía eléctrica, a través del factor G en la tarifa de electricidad.

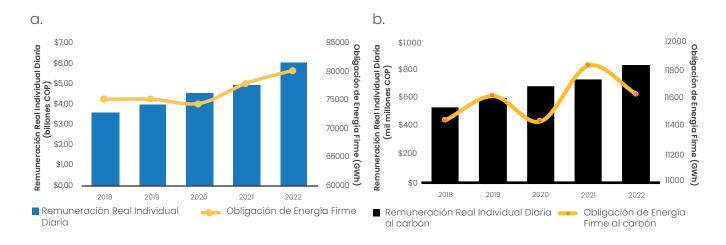


Figura 6. Remuneración Real Individual Diaria (RRID) y Obligaciones de Energía Firme (OEF) de las a.) centrales eléctricas en Colombia y b.) centrales termoeléctricas a carbón. Fuente XM (2023)²⁵.

Atendiendo la estrategia climática de largo plazo de Colombia, y reconociendo los múltiples impactos negativos que desde la perspectiva ambiental conlleva la generación de electricidad con carbón, es entonces necesario explorar alternativas que permitan remplazar esta capacidad instalada y transitar a una matriz menos contaminante. Sin embargo, este remplazo no es un ejercicio que se reduce a instalar la misma cantidad de MW de otra tecnología. En las transiciones energéticas se comparan sistemas y no tecnologías, pues cada matriz de fuentes de generación implica cambios en los patrones de operación del sistema. En especial, la integración de FNCER²⁶ conlleva a nuevas necesidades de infraestructura y efectos en la operación de las fuentes convencionales, como se explicará en la sección 5.

La planeación de una transición de las termoeléctricas a carbón requiere, además de responder a una priorización según su edad, eficiencia, cercanía a las FNCER y oportunidades de transición laboral para sus empleados, entre otros, promover cambios regulatorios tendientes a evitar que continúen recibiendo beneficios económicos como la extensión o asignación de nuevas OEF. El gobierno nacional parece estar dando los primeros pasos en esa dirección. En el contexto del Estado de Emergencia Económica, Social y Ecológica declarada para el Departamento

de La Guajira (en julio de 2023²⁷), el Ministerio de Minas y Energía expidió el Decreto 1276 de 2023²⁸, con el objetivo de tomar medidas para enfrentar la crisis energética en el Departamento, causada, entre otras, a la falta de acceso al servicio público de electricidad y al estancamiento de la transición energética. Una de las medidas contenidas en el Decreto tiene que ver justamente con el mercado de la confiabilidad, y consiste en dar prioridad a los proyectos de FNCER en la asignación de OEF en las futuras subastas de expansión que se realicen (incluyendo la próxima subasta ya convocada, que pretende asignar nuevas OEF para el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2027 y el 30 de noviembre de 2028). Lo anterior significa que los proyectos de FNCER que se ejecuten en La Guajira tendrán prioridad en la asignación de OEF en las próximas subastas, prevaleciendo sobre otras fuentes como el carbón.

A pesar de la relevancia de la medida antes mencionada, se considera conveniente promover la creación de un mecanismo más general, que tenga vocación de permanencia en el ordenamiento jurídico y sea aplicable a todo el territorio nacional (no a un solo Departamento). Sobre este asunto, es conveniente mencionar que la confiabilidad del sistema puede asegurarse con otras fuentes distintas a las térmicas, como las plantas hidroeléctricas en complementariedad con las FNCER.

No obstante, teniendo en cuenta que las reglas vigentes permiten la participación de todas las tecnologías en los mecanismos de asignación de OEF remuneradas con el CxC, el

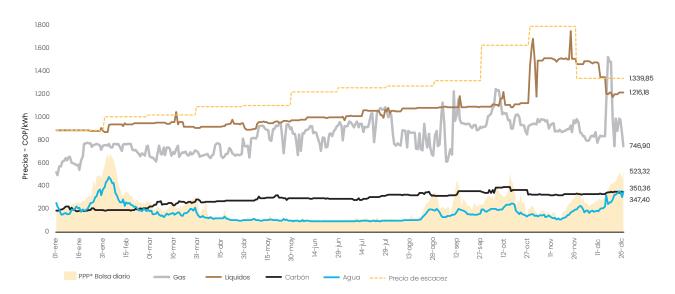
gobierno podría promover una modificación de la regulación existente sobre CxC, para excluir al carbón como fuente de generación participante.

5.

Las termoeléctricas a carbón son poco flexibles y no están preparadas para operar en las condiciones que implica una transición energética

En el mercado *spot* (bolsa), que hace parte del mercado de energía mayorista (MEM) colombiano, los generadores ofertan el precio de su energía (en MWh) para las 24 horas del día siguiente, y se despachan por orden de mérito. Esto quiere decir que el administrador de dicho mercado (XM S.A. E.S.P. – XM) va seleccionando los agentes de acuerdo con el precio sus ofertas²⁹, iniciando con el MWh más económico y hasta el valor máximo requerido para cubrir la demanda de electricidad. Ese último valor es el que recibirán todos los agentes como remuneración para ese día.

Hasta ahora, el valor de un MWh generado a partir de hidroelectricidad (línea azul clara en la Figura 7) suele ser más económico que el MWh generado a partir de combustibles fósiles. Dentro de los combustibles fósiles, el MWh generado a partir de carbón (línea negra) ha sido más económico que el MWh generado a partir de gas y que los combustibles líquidos (líneas gris y amarilla respectivamente). Por esta razón, las termoeléctricas a carbón fueron, desde un inicio, concebidas para operar de manera continua por periodos prolongados, cuando la hidroelectricidad no es suficiente para cubrir la demanda, especialmente en periodos de sequía. En momentos de disponibilidad de recursos hídricos en los embalses, rara vez las termoeléctricas a carbón podrán competir en costos con la hidroelectricidad.



*Precio Ponderado Promedio
Figura 7. Precio de Oferta Ponderada por Combustible. Tomado de: Informe XM (2022)³⁰.

Otro parámetro importante para la operación del SIN son las características técnicas de las máquinas de generación³¹ el cual se encuentra relacionado a las inflexibilidades. Las termoeléctricas a carbón suelen ser poco flexibles, lo que significa que requieren (i) un tiempo considerable para iniciar su operación (hasta 12 horas en frío)³², (ii) mantener una carga mínima alta para poder operar eficientemente, y (iii) contar con suficiente tiempo para responder a las variaciones en la demanda de electricidad, en caso de requerir aumentar o disminuir el despacho en corto tiempo.

Sin embargo, la composición de la matriz eléctrica está cambiando y los costos de instalación de las FNCER son cada vez más bajos. A medida que la generación con FNCER ingrese en mayor proporción al SIN, se reducirá la necesidad de electricidad de otras fuentes y el carbón se verá desplazado, es decir, cada vez menos utilizado. Esto se debe a que el costo de generación con energía solar y eólica es mínimo³³. Continuando con la lógica del orden de mérito, las FNCER ofrecerían el MWh más económico y, por tanto, las demás fuentes pasarían a prender y apagar siempre que varíe la disponibilidad de renovables (baja disponibilidad de sol, viento y/o poca agua en los embalses). En cuanto a la variabilidad, una alta penetración de FNCER en la matriz eléctrica también implica tiempos de respuesta menores. Mientras la hidroelectricidad varía en días para conocer si un embalse se está llenando o desocupando, las FNCER requieren tiempos de respuesta menores. Por ejemplo, en Alemania, con el incremento de la participación de las FNCER, además del mercado

de SPOT diario, existe una fase de negociación intra-diaria que permite la comercialización de electricidad hasta 30 minutos antes del suministro³⁴, así como la implementación de un mercado de balance destinado a sincronizar la generación y el consumo de energía eléctrica³⁵.

Lo anterior se traduce en la necesidad de un cambio en el patrón operativo de las termoeléctricas a carbón en el MEM, pasando de un despacho programado, con mayor antelación para periodos más largos y constantes, a un despacho cada vez más variable, que responda a los picos de demanda cuando las FNCER no sean suficientes. Este sería un patrón operativo que las termoeléctricas a carbón, por sus capacidades técnicas, no podrían proporcionar, y si en ocasiones lo lograran, sería a precios (en MWh) no competitivos.

La electricidad generada a partir de carbón es cada vez más costosa

Los costos de generación de electricidad a partir de carbón dependen principalmente del costo de este combustible. Colombia exporta la mayor parte del carbón que extrae, por tanto, los costos domésticos de carbón son altamente dependientes de su valor a nivel internacional y su volatibilidad. Si los precios internacionales incrementan (como sucedió en el año 2022 por la guerra en Ucrania y el incremento en importaciones de carbón colombiano por parte de los países que decidieron disminuir sus importaciones de combustibles fósiles de origen ruso), se priorizará dicho mercado y la oferta nacional disminuirá, aumentando los precios de este energético en el mercado doméstico.

Otro factor que va a impactar considerablemente el costo del carbón y la generación de electricidad a partir de este, es el impuesto al carbono. La reciente reforma tributaria (Ley 2277 del 2022) dispuso, en su Artículo 221, que el impuesto nacional al carbono aplica a las ventas de carbón al consumidor final. La tarifa

actual es COP \$52.212/tonelada de carbón, y se ajustará cada primero (1) de febrero. Este valor se aplicará a la generación de electricidad con carbón, iniciando en 2025 con un 25% de la tarifa, y aumentando 25% anualmente, hasta el 2028 (ver Figura 8).

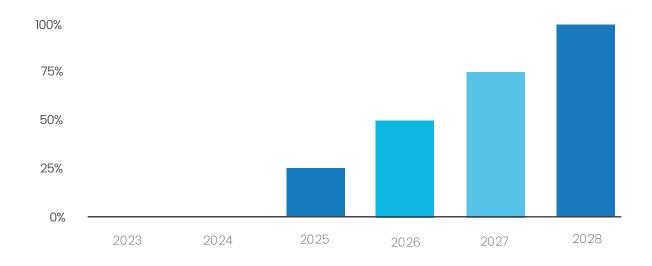


Figura 8. Tarifa del impuesto nacional al carbono. Fuente: Ley 2277 del 2022 ³⁶

Conforme a lo anterior, el valor correspondiente al impuesto nacional al carbono se verá reflejado en los precios de generación de energía eléctrica con base en carbón. Esto causará que las centrales térmicas a carbón sean cada vez menos competitivas en el

mercado eléctrico colombiano. Por ejemplo, la Asociación Nacional de Empresas Generadoras, ANDEG, calcula que la tarifa para los usuarios finales podría aumentar en COP \$18 por kilovatio/hora³⁷.

junto con el incremento del costo del MWh generado a base de carbón (sección 6), por sí solos le están cerrando las puertas a la generación de electricidad a carbón.

El ingreso de más FNCER al SIN (sección 5),

Vale la pena preguntarse, entonces, si sigue teniendo sentido destinar recursos económicos (provenientes de los usuarios) a pagar CxC a las termoeléctricas a carbón, o si existen formas más estratégicas de destinar esos recursos para promover una transición energética justa. Asumiendo un precio competitivo en el mercado para la instalación de paneles fotovoltaicos de 1000 USD/kWp, los 23 billones de pesos que Colombia ha destinado en los últimos cincos años CxC, de los cuales el 13% han sido pagados a termoeléctricas a carbón (ver Figura 6), serían el equivalente a instalar 5,75 GW de arreglos solares fotovoltaicos. Esta capacidad instalada en energía solar distribuida se aproxima a la capacidad que el presidente Gustavo Petro manifestó como meta en techos solares (6GW), en el discurso de instalación del Congreso el 20 de julio de 2023³⁸. Alternativamente se estima que este valor podría cubrir alrededor del 40% de la transición del sector eléctrico a energía eólica en el país³⁹.

Colombia tiene un enorme potencial para alcanzar una matriz eléctrica 100% renova ble, si se enfocan los esfuerzos en (i) lograr

7.

¿Sigue teniendo sentido generar electricidad a carbón? una alta penetración de FNCER, de manera democrática, y (ii) dar un uso estratégico a las hidroeléctricas de embalse, para que complementen las FNCER cubriendo los picos de demanda y así reducir la dependencia en los combustibles fósiles⁴⁰. Adicionalmente, Colombia tiene una ventaja con la que no cuentan muchos países que iniciaron su transición energética más temprano, a saber: un alto potencial en generación con FNCER y unas hidroeléctricas de embalse ya construidas, que pueden ofrecer la flexibilidad a precios competitivos que los combustibles fósiles no permiten. Las hidroeléctricas de embalse, en teoría, podrían retener agua

(respetando los ciclos ecológicos de los ríos), y dejarla fluir cuando se requiera responder a un pico de demanda que las FNCER no alcanzan a cubrir, en lugar de extraer, transportar, almacenar y quemar combustibles fósiles contaminantes y costosos⁴¹. Sin embargo, es importante resaltar que preparar al SIN para una complementariedad de este tipo requiere tanto inversiones en sistemas de transmisión y distribución, gestión de la demanda y mayor digitalización para garantizar la estabilidad del sistema, así como una planeación estratégica de FNCER distribuidas o cercanas a las cargas que permita optimizar las necesidades de sistemas de balance adicionales.

8.

Tiene más sentido invertir en energías renovables

En las secciones anteriores se explicó cómo las FNCER tienen costos operativos (COP\$/MWh) menores que las termoeléctricas a carbón. El panorama de los costos de inversión (p.ej., costos de instalar paneles solares, aerogeneradores, o centrales termoeléctricas) también favorece a las FNCER. En los últimos años, los costos asociados a la instalación de proyectos de FNCER han disminuido considerablemente,

haciendo que la inversión en estas tecnologías sea cada vez más atractiva en comparación con las plantas de carbón. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), casi dos tercios de la capacidad de renovables añadida en 2021 tenía costos más bajos que las opciones de carbón más baratas en los países del G20⁴². El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) publicó, en 2023, un estudio que resalta los beneficios a 2050 de una expansión de las energías renovables en el sector eléctrico de América Latina y el Caribe, en el cual indica que optar por energías renovables, en lugar de continuar por la senda de los combustibles fósiles, incluido el gas natural, resultaría en la mejor opción en cuanto a costos, empleos generados y reducción de emisiones de GEI⁴³. Un estudio publicado en agosto de 2023 por Willis Tower Watson y el Centro Regional de Finanzas Sostenibles de la Universidad de los Andes, sobre los riesgos de una transición baja en carbono, concluye que si a nivel global se ejecutan las acciones necesarias para limitar la temperatura media global a +1.75°C, sobre niveles preindustriales, implicarían que las termoeléctricas a carbón en Colombia lleguen a experimentar una disminución de hasta el 100% de sus ingresos a 2030.⁴⁴ Estos son sólo algunos ejemplos de estudios recientes que han llegado a similares conclusiones.

Lo anterior muestra que el mercado, por sí mismo, está cerrando las puertas para que el carbón siga siendo una fuente de generación viable en el mercado eléctrico **colombiano**⁴⁵. Sin embargo, si se diseña un plan intencional y progresivo para abandonar la generación con carbón, se lograrán resultados sustancialmente diferentes en cuanto a los impactos y afectaciones que dicho abandono causará sobre las empresas, los trabajadores y las comunidades aledañas, así como para los usuarios de energía eléctrica. Un plan intencional y progresivo en este sentido también permitiría liberar importantes recursos económicos (p.ej., del CxC) para destinarlos a impulsar una transición a un sistema eléctrico renovable, confiable, asequible, y ante todo justo.

9.

¿Por diseño o por desastre? La transición del sistema eléctrico ya está sucediendo, pero se necesita abandonar el carbón y que la transición se haga de manera justa

En Colombia, dejar atrás la generación de electricidad con carbón requiere de un proceso de transición liderado por el Estado, para incentivar la migración de las empresas generadoras hacia otras formas de generación con FNCER. Este proceso debe a su vez ser incluyente, para atender las necesidades de reconversión laboral de quienes trabajan en el sector y dependen de él, de tal forma que las responsabilidades y costos de la transición no recaigan sobre la población civil⁴⁶.

En 2022, según el DANE⁴⁷, 56.309 personas en Colombia estuvieron ocupadas en la categoría "351 Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica", sin embargo, no se encuentran datos con

mayor detalle que permitan distinguir cuantos trabajan en termoeléctricas a carbón. Los datos de riesgos laborales de la Federación de Aseguradores Colombianos, Fasecolda⁴⁸, tienen una subcategoría adicional donde no se incluye comercialización y contabilizan 29.299 personas que en 2022 trabajaron en la actividad económica bajo la subcategoría "4401001-Generación, captación y distribución energía eléctrica", de los cuales 26.903 (92%) eran dependientes y 2.396 (8%) independientes.

Aunque ninguna de estas fuentes proporciona datos desagregados para las termoeléctricas a carbón, se puede destacar que la mayoría de los trabajadores en el sector, al ser dependientes, cuentan con un contrato laboral que garantiza derechos laborales como prestaciones sociales o indemnizaciones, en tanto el trabajador independiente solo tiene derecho al pago de sus honorarios. Esta situación proporciona un punto de partida más certero para dimensionar la cantidad de posibles afectados directos, y generar espacios deliberativos que permitan su participación, reconocimiento en las estrategias de reconversión y protección.

En cualquier caso, es importante resaltar que las termoeléctricas a carbón son solo un eslabón dentro de la cadena de valor del carbón de uso doméstico en Colombia. Existen encadenamientos productivos (extracción, transporte, etc.), así como actividades económicas formales e informales que prestan servicios a las empresas que generan electricidad con carbón. En la sección 2 se identificó que las termoeléctricas a carbón en la zona Andina (Norte de Santander, Cundinamarca y Boyacá) son las más antiguas y las que menos electricidad generan. En esta zona, el carbón que se usa para generar electricidad proviene principalmente de minas cercanas, y por tanto el proceso de transición de estas empresas debe ir acompañado de alternativas productivas para la región, pues de lo contrario se verían afectados muchos más hogares que aquellos de los trabajadores de las termoeléctricas.

Sumado a lo anterior, es importante destacar que, de acuerdo con el Artículo 45 de la Ley 99 de 1993⁴⁹, las "centrales térmicas" están obligadas a transferir el 4% de sus ventas brutas de energía a las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y al municipio donde se encuentren ubicadas las respectivas plantas, en las proporciones indicadas en la misma norma (para efectos de la protección y conservación del medio ambiente y la conservación de páramos, en zonas donde existieren). En vista de lo anterior, en la planeación del abandono progresivo de la generación con termoeléctricas a carbón se debe también considerar la eventual cesación de pago de estos recursos (así como otros recursos asociados, por ejemplo, a las regalías provenientes de la explotación del carbón bajo contratos de concesión minera), requiriéndose por tanto identificar otras posibles fuentes de ingreso para financiar la transición energética justa.

10.

¿Qué debería hacer Colombia para eliminar progresivamente la generación con termoeléctricas a carbón?

PASO 1: Aprovechar el acompañamiento de alianzas internacionales

Considerando que la combustión del carbón es la causa principal del aumento de la temperatura global, la eliminación progresiva de la electricidad generada a partir de carbón es un primer paso esencial para hacer frente a la crisis climática⁵⁰. Como muestra del compromiso de los gobiernos en ese sentido, en 2017, en el marco de la 23ª Conferencia de las Partes (COP23), se conformó la Alianza para el Retiro Progresivo del Carbón, en inglés Powering Past Coal Alliance (PPCA). Actualmente, 165 miembros se han unido al PPCA, incluyendo gobiernos nacionales y subnacionales, empresas y organizaciones. De los 165 miembros, 48 son países (ver Figura 10). El 13 de junio de 2023, Colombia manifestó que se encuentra en proceso de adhesión al PPCA⁵¹.

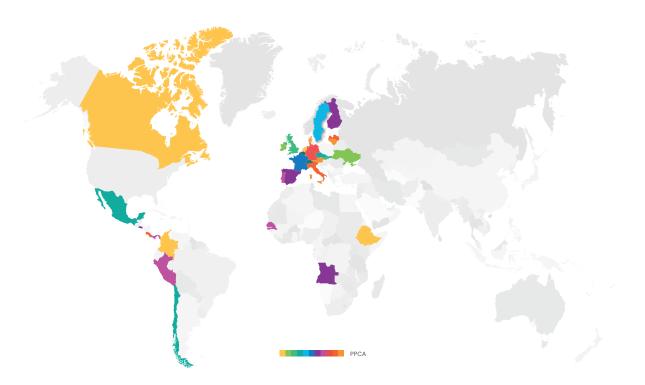


Figura 9. Países miembros del PPCA.

Para adherirse al PPCA, un gobierno nacional debe acogerse a las siguientes tres declaraciones de intención:

- a) Establecer una **moratoria** que impida construir nuevas centrales térmicas no abatidas a base de carbón, es decir, centrales que no cuenten con sistemas de captura y almacenamiento del CO2 emitido.
- b) Respaldar la generación de energía limpia por medio de sus **políticas e inversiones**, y restringir el financiamiento de la generación de electricidad sin abatimiento a base de carbón.

c) Abandonar progresivamente el uso del carbón en la generación eléctrica sin abatimiento. En el caso de los países miembros de la OCDE, como es el caso de Colombia, la fecha recomendada corresponde, a más tardar, al año 2030⁵².

Colombia tiene las condiciones para cumplir con los tres compromisos mencionados, y posicionarse a nivel global como un país comprometido con la agenda climática.

Colombia no tiene planes vigentes para construir nuevas termoeléctricas a carbón, según el Plan de Expansión de Generación Transmisión

2020-2034⁵³. Por su parte, el registro de proyectos de generación administrado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) tampoco incluye proyectos de este tipo, inscritos en fase 3⁵⁴. En vista de lo anterior, Colombia ya podría sumarse al No New Coal Power Compact⁵⁵, estableciendo a nivel global su compromiso y liderazgo hacia una transición de energía limpia.

Este tipo de alianzas internacionales (como el PPCA y el No New Coal Power Compact) no solo constituyen un espacio para el acompañamiento técnico e intercambio de experiencias con otros países, sino que también corresponden a una estrategia política a nivel global para atraer financiación.

PASO 2. Propiciar un despliegue masivo y justo de FNCER

Como se explicó en los puntos anteriores de este documento, una alta penetración de FNCER en el SIN va, casi que por sí sola, a desplazar la generación de electricidad con combustibles fósiles, en especial con carbón. Sin embargo, recientes casos como el de ENEL⁵⁶ demuestran que el consenso con la población local es requisito para un despliegue justo de FNCER a las velocidades que la acción climática requiere.

Con respecto a lo anterior, los recursos que se destinan a incentivar las FNCER también pueden ser aprovechados para disminuir de raíz la pobreza energética en Colombia. El país destina una buena proporción de su presupuesto a cubrir el déficit fiscal asociado a los subsidios a la tarifa de electricidad en estratos 1, 2 y 3. Tan solo en 2022, se destinaron 4 billones de pesos del Presupuesto General de la Nación⁵⁷ para esos efectos. ¿Qué pasaría si estos hogares recibieran incentivos para generar su propia electricidad en sus techos, y vender excedentes a la red? ¿Qué tal si las comunidades se pudieran asociar para participar en el SIN como agentes generadores de electricidad con FNCER?

Tanto los escenarios de la Hoja de Ruta de Transición justa del Ministerio de Minas y Energía, como el proyecto de Decreto de Comunidades Energéticas muestran un creciente interés en promover mecanismos que fomenten un despliegue masivo de las FNCER bajo esquemas descentralizados y democráticos, como complemento al despliegue de proyectos de gran escala y las necesidades de expansión de la red de transmisión. Sin embargo, entendiendo la democratización de la propiedad como el acto de "(...) facilitar el acceso a la misma, en condiciones de equidad, a quienes pudiendo manejarla con criterios de eficiencia y productividad, no podrían obtenerla en el marco de una estricta competencia financiera, para ello ha de otorgárseles prerrogativas, 'condiciones especiales' dice la Constitución, que les permita acceder a ella, sin perder de vista que en un Estado Social de Derecho, la propiedad es un instrumento que debe servir para la dignificación de la vida de los ciudadanos. ⁵⁸", los mecanismos de democratización energética deberán en efecto otorgar prerrogativas y condiciones especiales (diferenciales) a los usuarios priorizados en comparación con los agentes. Por el momento, existe una intención desde el gobierno por regular estos mecanismos, pero aún se desconocen los esquemas asociativos, parámetros técnicos, protecciones especiales para grupos priorizados, entre otros.

PASO 3. No seguir financiado termoeléctricas que generan electricidad a partir de carbón

De acuerdo con lo presentado anteriormente,

no es viable construir nuevas termoeléctricas a carbón debido a su poca flexibilidad, sumada al incremento en los costos de la electricidad como consecuencia de la aplicación del impuesto al carbono. Además, el 43% de las unidades térmicas a carbón activas en Colombia tiene una vida útil superior a la recomendada (40 años), razón por la cual se sugiere que más allá de una hoja de ruta para el abandono planeado y progresivo, se oficialice el moratorio.

En la Figura 11 se observa que las OEF asignadas a once de las catorce unidades térmicas a carbón expiran en 2025. Para las tres restantes, los años de terminación de las OEF hasta ahora asignadas son los siguientes: (1) Para Gecelca 3, 2032; y (2) para Tasajero 2 y Gecelca 33, 2035. ⁵⁹

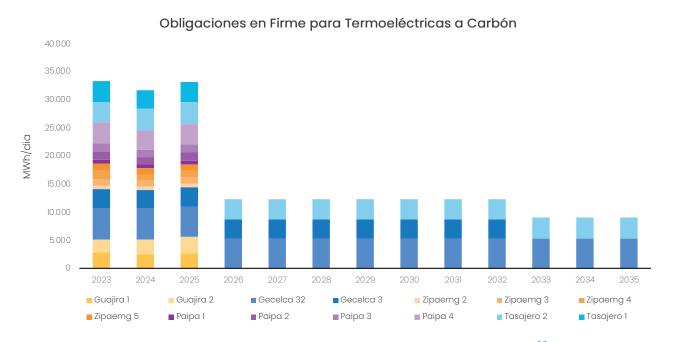


Figura 10. Obligaciones de Energía en Firme para las Termoeléctricas a carbón. Fuente: XM (2023) 60

Actualmente, se encuentra en curso la convocatoria a una nueva subasta de expansión para la asignación de OEF, para el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2027 y el 30 de noviembre del 2028⁶¹. De acuerdo con las resoluciones expedidas tras su convocatoria⁶², esta subasta se llevaría a cabo en el mes de noviembre del 2023, bajos las reglas actualmente vigentes, que permiten la participación de todas las tecnologías incluyendo centrales térmicas a carbón. Teniendo en cuenta lo indicado anteriormente en este documento (sección 4) la exclusión de las centrales térmicas a carbón de la mencionada subasta (y de cualquier otra, a ser convocada en el futuro) requerirá que el gobierno promueva una modificación de la regulación existente sobre CxC, para excluir al carbón como fuente de generación participante.

PASO 4. Establecer fechas de cierre para las plantas más antiguas, menos eficientes y más contaminantes

Desde la sociedad civil ya se han realizado estudios que estiman un panorama de transición para las termoeléctricas a carbón a 2030 y 2035, tales como la "Hoja de ruta para la eliminación gradual del carbón en la generación eléctrica en Colombia" 63, bajo parámetros

como la eficiencia térmica, antigüedad y OEF. A lo anterior se sugiere partir de las fechas de terminación de las OEF como guía de finalización de la generación de electricidad a partir de carbón.

De igual forma, se resalta la importancia de tener en cuenta las zonas del país y los respectivos patrones operativos de las termoeléctricas a carbón (ver figura 3). Esta distinción permite además explorar alternativas de generación incluyendo otros criterios como las tarifas de electricidad (más altas en la zona Caribe), y el potencial de generación con FNCER. Proyectos tales como el despliegue masivo de techos solares en la zona Caribe puede ofrecer tiempos de repago más rápidos, dadas las condiciones climáticas y las tarifas de electricidad actuales. De igual forma, se recomienda explorar sistemas de almacenamiento de energía, cuyos valores comerciales son cada vez más competitivos⁶⁴.

PASO 5. Establecer cronograma/ esquema de transición para las plantas restantes

Tres unidades a carbón, Tasajero 2, Gecelca 3 y Gecelca 32, representan un desafío diferente a las demás termoeléctricas a carbón, pues sus OEF superan el año 2030 y corresponden a unidades más nuevas. Colombia no es el primer país que explora alternativas para el abandono de la generación de electricidad con carbón, y el intercambio de experiencias en el marco de alianzas internacionales como el PPCA es una herramienta clave para identificar las soluciones más acordes al momento y contexto. Se recomienda que la definición de una fecha de transición responsa a un proceso de negociación para cada planta y su contexto, en el cual se involucre a los diversos actores afectados. Se recomienda, además, explorar

dentro de estas soluciones diversos mecanismos, como las subastas inversas para que el Estado adquiera (en el caso de Tasajero 2, que es privada) y jubile las centrales de acuerdo con las prioridades del país, los incentivos para la "jubilación" condicionados al despliegue de FNCER o la sustitución de combustibles por otros de origen renovables; o la posibilidad de vender las OEF a un generador con menores emisiones, entre otros.

Acciones transversales

Los pasos descritos arriba son viables, en el contexto de una transición energética justa, si se surten de la mano de acciones transversales para garantizar que la matriz eléctrica sea renovable, confiable, asequible y ante todo justa. Estas acciones transversales incluyen:

Fomentar el impuesto nacional al car- bono. Es un primer paso que se estableció
en la reforma tributaria de 2022, para
que el impuesto al carbono ingrese de

forma progresiva. En este sentido, será necesario aplicarlo, mantenerlo e incluso incrementarlo, de manera que se alinee con la realidad de las metas climáticas de Colombia, que cada vez deberán ser más ambiciosas.

Redireccionar y/o reformular los beneficios e incentivos a las FNCER. Un despliegue masivo y justo de las FNCER requiere de la participación de nuevos actores, que

necesitarán contar con suficientes incentivos económicos. Sin embargo, una de las mayores limitantes en Colombia radica en que los incentivos existentes (tributarios, arancelarios y contables), previstos en las Leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021, son insuficientes y difícilmente accesibles para la mayor parte de la población colombiana, debido, entre otras, a su relación con la declaración de renta y las importaciones. En ese sentido, si se quiere que el desplieque de FNCER sea democrático, y ocurra a la velocidad que el planeta requiere, de manera que además aporte a disminuir la pobreza energética en Colombia, será necesario crear de manera general nuevos incentivos y subsidios (desde la legislación y la política pública) de fácil acceso para la población colombiana.

empresas que participan en la generación de electricidad a base de carbón tienen participación accionaria mayoritaria de la Nación (Gecelca S.A E.S.P y Gensa S.A E.S.P, ver Tabla 1), lo cual genera una oportunidad para que este se interese en impulsar, desde ellas, su tránsito a otras formas de participación en el sector eléctrico. Ideas como las de mantener los puntos de conexión⁶⁵ y fomentar la reconversión laboral en las empresas, con el apoyo de instituciones formativas como el SENA, pueden contribuir al cumplimiento de las metas antes enunciadas.



Tabla 1. Principales accionistas de las Empresas de servicios públicos propietarias de las termoeléctricas a carbón

Empresa de servicios públicos	Unidades	Accionistas
Gecelca S.A E.S.P	Guajira 1	 "99,99% El Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP) 0,000024% Trabajadores de GECELCA y otros 0,00008% Empresa de Energía de Boyacá 0,00008% Cooperativa de Empleados del Sector Energético Colombiano – CEDEC"66
	Guajira 2	
	Gecelca 3	
	Gecelca 32	
Termotasajero S.A E.S.P	Tasajero 1	"Inversiones Termotasajero S.A, que es una sociedad colombiana integrada por los fondos de pensiones
	Tasajero 2	Protección, Porvenir, Citi-Colfondos y Skandia, la comisionis de bolsa Correval e inversiones internacionales". ⁶⁷
Gensa S.A E.S.P	Paipa 1	"Su principal accionista es la NACIÓN – Ministerio de Hacienda y Crédito Público con el 90,93% del porcentaje accionario." ⁶⁸
	Paipa 2	
	Paipa 3	
Compañía Eléctrica Sochagota S.A E.S.P	Paipa 4	"Propiedad de ContourGlobal en sociedad con Steag" ⁶⁹
Emgesa S.A E.S.P	Zipaemg 2	 "Grupo Enel Colombia"⁷⁰ 57,345% Enel Américas S.A. 42,525% Grupo Energía Bogotá S.A E.S.P 0,140% Otros accionistas minoritarios"⁷¹
	Zipaemg 3	
	Zipaemg 4	
	Zipaemg 5	

Repensar el mercado eléctrico nacional.

En la sección 5 se explicó como el mercado de energía mayorista en Colombia está basado en un orden de mérito, donde las hidroeléctricas generan constantemente y las termoeléctricas cubren los picos, de acuerdo con las variaciones

climáticas y sin considerar las externalidades asociadas. Este mecanismo de mercado no es suficiente en el contexto actual de crisis climática donde la protección del medio ambiente y los derechos de las comunidades y los seres humanos deben adquirir máxima urgencia. Propender por el MWh más barato como meta última, y dejar en manos del mercado los eventuales cambios en la conformación de la matriz eléctrica colombiana, puede retrasar o definitivamente frustrar la transición energética justa, con un alto costo económico y un impacto socio-ecológico prolongado. Colombia necesita repensar y adaptar su mercado eléctrico, y responsabilizar a quienes explotan y utilizan combustibles fósiles por los costos reales (incluyendo externalidades socio-ecológicas) de la energía que generan, sin dejar de lado una tarifa justa para la población.

- ciencia energética. Promover la eficiencia energética y la reducción de la demanda de electricidad, a través de programas de incentivos y campañas de concientización, es un primer paso importante en el marco de una transición energética justa, que involucre a la demanda como agente proactivo y tomador de decisiones. Sin embargo, preparar al SIN para una alta penetración de FNCER requiere dar pasos adicionales hacia una gestión activa de la demanda, de manera que esta se adapte y beneficie del sistema produciendo y consumiendo lo que realmente necesita.
- Adaptar la gestión ambiental a los compromisos climáticos. Se requiere reforzar las actividades de monitoreo y

seguimiento por parte de las autoridades ambientales en relación con las emisiones atmosféricas y los vertimientos de aqua, exigiendo información pública, transparente y formulada en un lenguaje claro. Adicionalmente, Colombia necesita de una definición regulatoria clara sobre los procesos de transición o cierre de las termoeléctricas a carbón y los encadenamientos productivos (desde la extracción hasta la disposición final), que incluya los pasivos ambientales y los responsables del correspondiente manejo y control. De igual forma, se identifica un conflicto de interés en la función de las CAR pues aunque tienen a cargo el seguimiento a las emisiones atmosféricas y vertimientos de aqua, el cierre de las termoeléctricas a carbón significaría que estas entidades dejarían de percibir recursos por las transferencias que generan las termoeléctricas (sección 9). Se requieren esfuerzos contundentes para disminuir las emisiones del SIN. La Agencia Internacional de Energía en su escenario de cero emisiones netas del WEO dice que se debería emitir 5g CO2eq/ kWh al 2050. Para 2021, Colombia estaba en 126g CO2eq/kWh, y puede aumentar con la llegada de El Niño. Es por eso por lo que el carbón debe salir de la matriz de generación o ser completamente abatido.

Referencias

- 1. World Energy Outlook 2022. (2022). En International Energy Agency. https://iea.blob.core.windows.net/assets/830fe099-5530-48f2-a7cl-1]f35d510983WorldEnergyOutlook2022.pdf
- 2. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Estrategia Climática de Largo Plazo de Colombia. e2050. Recuperado 10 de julio de 2023, de https://e2050colombia.com/
- 3. Renewable Power Generation Costs in 2021. (2022). IRENA International Renewable Energy Agency. Recuperado 16 de julio de 2023, de https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021
- 4. Is Natural Gas a Good Investment for Latin America and the Caribbean? From Economic to Employment and Climate Impacts of the Power Sector. (2022). En United Nations Environment Programme. Recuperado 3 de agosto de 2023, de https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/40923;isessionid=4F0115E1DBB9BCF8E064636F570F67A6
- 5. En Colombia existen 19 plantas activas de generación eléctrica a carbón como principal combustible, pero para el presente análisis no se tiene en cuenta a las autogeneradores y cogeneradores que venden excedentes.
- 6. Parámetros técnicos del Sistema Interconectado Nacional. (2023). Paratec.xm. Recuperado 4 de agosto de 2023, de https://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/Default.aspx
- 7. Parámetros técnicos del Sistema Interconectado Nacional. (2023). Paratec.xm. Recuperado 4 de agosto de 2023, de https://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/Default.aspx
- 8. La columna titulada "Fecha de finalización de OEF" de esta Figura hace referencia a las Obligaciones de Energía Firme remuneradas con el Cargo por Confiabilidad. Este tema es abordado en una sección posterior de este documento.
- 9. Perspectivas regionales de la OCDE: Hacer frente a la COVID-19 y avanzar hacia cero emisiones netas de gases de efecto invernadero. (2021, mayo). oecd.org. Recuperado 6 de julio de 2023, de https://www.oecd.org/regional/Regional-outlook-PH-SP.pdf.
- 10. ESouthern Oscillation (ENSO) o ell Niño es una fluctuación periódica de la temperatura superficial del océano y la presión atmosférica superficial a través del océano pacífico ecuatorial. El ENSO describe la variación bimodal de la presión barómetrica oceánica entre Autralia y Tahiti, cuya diferencia es cuantificada de manera estandarizada a través del Índice ENSO. (NOAA: https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/technical-discussion)
- 11. De acuerdo con la definición de XM "El despacho de energía es el proceso de programación de la operación del día siguiente para garantizar que la operación del SIN cumpla con los criterios de seguridad, confiabilidad y economía establecido en el marco regulatorio vigente.". Despacho (2023) XM. Recuperado 10 julio de 2023, de https://www.xm.com.co/generacion/despacho
- 12. Generación Térmica Despachada Centralmente. (2023). Sinergox.xm. Recuperado 10 de julio de 2023, de https://sinergox.xm.com.co/oferta/Paginas/Informes/GeneracionTermica.aspx

- 13. Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2). (2020). psl.noaa. Recuperado 2 de agosto de 2023, de https://psl.noaa.gov/enso/mei/
- 14. Clean power replacing emissions-intensive fossil fuels. (2023, mayo). ember climate. Recuperado 6 de agosto de 2023, de https://ember-climate.org/countries-and-regions/regions/latin-america-and-caribbean/. Las emisiones de GEI son calculadas en el ciclo de vida completo incluyendo las emisiones de la cadena de suministro y la manufactura.
- 15. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2020. El Carbón: fuente de energía de la región central. https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/Cptl08-EL-CARBO%CC%81N-FUENTE-DE-ENERGI%CC%81A-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL.pdf
- 16. Universidad de Antioquia (2010). Cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia. En Ministerio de Ambiente. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Inventario_Cuantificacion_Mercurio.pdf
- 17. Mercurio. (s. f.). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. Recuperado 17 de agosto de 2023, de https://www.paho.org/es/temas/mercurio
- 18. En febrero del presente año en Paipa se ha presentado una alerta de excedencia de SO2, posiblemente proveniente de la quema de carbón de Termopaipa. De acuerdo con la secretaria de Salud del departamento "en las semanas coincidentes con el periodo de contaminación se conocieron 704 casos de infecciones respiratorias, según lo consignado en el Sistema de Vigilancia Epidemiológica https://entreojos.co/termoelectricas-cuestionadas-porcontaminacion-del-aire-en-paipa/
- 19. En Tensesse, Estados Unidos el depósito de cenizas de carbón ha generado enfermedades en sus trabajadores relacionadas con leucemia, cancér de pulmón y tumores cerebrales. Adicionalmente, 4.1 millones de m3 de ceniza arrasaron con un dique, contaminando ríos como el Emory, Clinch y Tennessee, al igual que con la comunidad de Swan Pond. (referencia: https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/02/el-otro-lado-oscuro-del-carbon-suceniza-puede-envenenar-el-aqua-y-a-las-personas)
- 20. Contraloría General de la Nación. 2021. Informe auditoria de cumplimento Autoridad Nacional de Licencias Ambientales: Disposiciones ambientales en la disposición de centrales termoeléctricas.
- 21. What are the safest and cleanest sources of energy? (2020, 10 febrero). Our World in Data. Recuperado 13 de julio de 2023, de https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy
- 22. Bouman, E. (2020, 16 diciembre). A life cycle perspective on the benefits of renewable electricity generation. Eionet Portal; ETC/CME. Recuperado 10 de julio de 2023, de https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-cme/products/etc-cme-reports/etc-cme-report-4-2020-a-life-cycle-perspective-on-the-benefits-of-renewable-electricity-generation/view
- 23. Las Obligaciones de Energía Firme están definidas en la regulación (Resolución CREG 071 de 2006) como el "Vínculo resultante de la subasta o del mecanismo que haga sus veces, que impone a un generador el deber de generar, de acuerdo con el Despacho Ideal, una cantidad diaria de energía durante el Período de Vigencia de la Obligación, cuando el Precio de Bolsa supere el Precio de Escasez de Activación. Esta cantidad de energía corresponde a la programación de generación horaria resultante del Despacho Ideal hasta una cantidad igual a la asignación hecha en la Subasta, considerando solamente la Demanda Doméstica (...)".

- 24. García, H., Corredor, A., Calderon, L., & Gómez, M. (2013). Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia. En repository.fedesarrollo. Fedesarrollo. Recuperado 4 de agosto de 2023, de https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/331/Repor_Octubre_2013_Garcia_et_al.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- 25. Cargo por Confiabilidad. (2023). Sinergox.xm. Recuperado 14 de agosto de 2023, de https://sinergox.xm.com.co/trpr/Paginas/Informes/Cargo-por-Confiabilidad.aspx
- 26. Las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) reconocidas en Colombia hasta el momento (a través de las Leyes 1715 de 2014, 2099 de 2021 y 2294 de 2023) son: la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar, los mares, el hidrógeno verde y el hidrógeno blanco. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER, según lo determine la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME).
- 27. Por medio del Decreto 1085 de 2023.
- 28. El 31 de julio del mismo año.
- 29. Adicional a las ofertas de precio, existen otras variables que, en menor medida, también influyen en la asignación de despacho como son el precio de arranque y parada, la disponibilidad del generador, la configuración de rampas, la declaración de mínimos obligatorios, las ofertas de prueba, la disponibilidad de AGC (servicio de regulación de frecuencia secundario) y la disponibilidad de inversores (si aplica). Dada la matriz de generación de electricidad en Colombia, las termoeléctricas han ofrecido servicios de complementariedad a la hidroelectricidad para no solo cubrir los picos, sino también compensar la energía reactiva, balance en la frecuencia, entro otros. Sin embargo, casos como el de Uruguay también presentan la posibilidad de otras matrices donde una alta penetración de renovables se puede complementar con la hidroelectricidad (ver: https://publications.iadb.org/es/la-complementariedad-de-la-generacion-hidroelectrica-con-las-energias-renovables-no-convencionales)
- 30. Precio de oferta ponderado por combustible. (2023). Informe Anual de XM. Recuperado 21 de julio de 2023, de https://informeanual.xm.com.co/16-precio-de-bolsa/index.html.
- 31. Despacho. (2022). Portal XM. Recuperado 11 de septiembre de 2023, de https://www.xm.com.co/generacion/despacho
- 32. Detalle recursos térmicos: Reporte Información Básica. (2022). Paratec XM. Recuperado 28 de julio de 2023, de https://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion. aspx?q=ReporteInformacionBasica
- 33. Las FNCER, como la solar y la eólica, no requieren combustibles fósiles para su funcionamiento, lo que se traduce en costos operativos más bajos. No hay necesidad de comprar, transportar y almacenar combustibles, lo que reduce los gastos a largo plazo. Además, la disponibilidad gratuita y abundante de la radiación solar y el viento en Colombia permite generar electricidad con FNCER sin costos variables significativos.
- 34. SMARD | Wholesale Prices. (s. f.). Strommarktdaten. Recuperado 26 de agosto de 2023, de https://www.smard.de/page/en/wiki-article/5884/5976
- 35. SMARD | This is how the electricity market works. (s. f.). Strommarktdaten. Recuperado 27 de agosto de 2023, de https://www.smard.de/page/en/wiki-article/5884/5840

- 36. Ley 2277 de 2022. Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria para la igualdad y la justicia social y se dictan otras disposiciones. 13 de diciembre 2022
- 37. ANDEG. (2021, 6 abril). Impuesto al carbón causaría un gran impacto en la sociedad colombiana incluyendo el aumento en tarifas de energía para consumidores finales. https://www.andeg.org/wp-content/uploads/2021/04/20210406-Comunicado-impuesto-al-carbono.pdf?0f7c2b&0f7c2b
- 38. Palabras del Presidente Gustavo Petro en la instalación de las sesiones ordinarias del Congreso Nacional 2023-2024. (2023, 20 julio). instalación de las sesiones ordinarias del Congreso Nacional 2023-2024, Bogotá, Cundinamarca, Colombia. https://petro.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Palabras-del-Presidente-Gustavo-Petro-en-la-instalacion-de-lassesiones-ordinarias-del-Congreso-Nacional-2023-230720.aspx
- 39. Cabrales, S., & Delgado, M. E. (2022). Transición energética en Colombia: política, costo de la carbono neutralidad acelerada y papel del gas natural. En Fedesarrollo. Recuperado 17 de julio de 2023, de http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4318/Repor_Agosto_2022_Benavides_Cabrales_y_Delgado.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- 40. Dyner, I., Pao-Yu, O., Yanguas, P., Corral, F., Zapata, S., Castañeda, M., Sanint, E., Avila, R., & Gomez, D. (2022). Hoja de ruta electricidad 100% renovable en Colombia a 2030 (1.a ed.). Universidad Jorge Tadeo Lozano. https://coaltransitions.org/publications/green-energy-roadmap-colombia-2030/, muestra que en escenarios de alta penetración de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) las termoeléctricas a carbón dejan de despachar (en promedio) en 2027.
- 41. ibid
- 42. Renewable Power Generation Costs in 2021. (2022). IRENA International Renewable Energy Agency. Recuperado 16 de julio de 2023, de https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021
- 43. Is Natural Gas a Good Investment for Latin America and the Caribbean? From Economic to Employment and Climate Impacts of the Power Sector. (2022). En United Nations Environment Programme. Recuperado 3 de agosto de 2023, de https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/40923;jsessionid=4F0115E1DBB9BCF8E064636F570F67A6
- 44. Colombia Climate Transition Risk, 2022. Willis Tower Watson y el Centro Regional de Finanzas Sostenibles de la Universidad de los Andes
 - https://www.wtwco.com/en-gb/insights/2023/08/understanding-the-impact-of-a-low-carbon-transition-on-colombia
- 45. Un ejemplo reciente es el caso de ENEL, actual accionista mayoritario de las termoeléctricas a carbón en Zipaquirá, quien anunció su plan de divesment del carbón. Como se puede encontrar en Petrova, V. (2021, 30 septiembre). Enel Eyes 145 GW of renewables by 2030, no coal by 2027. Renewablesnow.com. Recuperado 17 de agosto de 2023, de https://renewablesnow.com/news/enel-eyes-145-gw-of-renewables-by-2030-no-coal-by-2027-755808/
- 46. Colombia Climate Transition Risk, 2022. Willis Tower Watson y el Centro Regional de Finanzas Sostenibles de la Universidad de los Andes
 - https://www.wtwco.com/en-gb/insights/2023/08/understanding-the-impact-of-a-low-carbon-transition-on-colombia

- 47. DANE (2022). Visor Población ocupada según actividad económica. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/mercado-laboral/empleo-y-desempleo
- 48. FEASECOLDA (2023). Recuerado el 5 de mayo de 2023, de https://consultas.fasecolda.com/rldatos/reportes/xClaseGrupoActividad.aspx
- 49. Con sus distintas modificaciones, incluyendo a través del Artículo 24 de la Ley 1930 de 2018.
- 50. Declaration PPCA. (2023, 7 marzo). Powering Past Coal Alliance. Recuperado 10 de junio de 2023, de https://poweringpastcoal.org/declaration/
- 51. Minenergía. (2023, 13 junio). El Reino Unido respalda la transición energética justa en Colombia [Comunicado de prensa]. https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/el-reino-unido-respalda-la-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-justa-en-colombia/
- 52. Es importante resaltar que al momento de hacer el benchmark para la región OECD, Colombia no hacía parte. Si se asume el benchmark regional para América Latina, este sería a más tardar en 2032. https://climateanalytics.org/media/report_coal_phase_out_2019.pdf (pag 14)
- 53. Plan de expansión de referencia generación transmisión 2020 2034. (2020). En Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Recuperado 8 de junio de 2023, de https://wwwl.upme.gov.co/siel/Plan_expansin_generacion_transmision/Plan_expansion_2020_2034.zip
- 54. Planes expansión generación Transmisión. (2023). Sistema de Información Eléctrico Colombiano SIEL. Recuperado 8 de agosto de 2023, de https://wwwl.upme.gov.co/siel/Pages/Planes-expansion-generacion-transmision.aspx
- 55. En este Pacto el país se compromete a no construir nuevos proyectos de generación de electricidad a partir carbón. El Pacto, coordinado conjuntamente con PPCA y ONU-Energía, se dirige a nuevos signatarios como forma de que los países demuestren su compromiso y liderazgo hacia una transición energética limpia.
 - No New Coal Compact. (2022). United Nations Energy. Recuperado 2 de julio de 2023, de https://www.un.org/en/energycompacts/page/no-new-coal-compact
- 56. Portafolio. 24 de mayo de 2023. Suspenden la ejecución de parque eólico de Enel en La Guajira. https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/la-guajira-enel-suspende-indefinidamente-construccion-de-parque-eolico-windpeshi-583286
- 57. Fondo De Solidaridad Para Subsidios y Redistribución de Ingreso FSSRI. (2023). Minenergía. Recuperado 7 de agosto de 2023, de https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/fondos-especiales/fondo-de-solidaridad-para-subsidios-y-redistribuci%C3%B3n-de-ingreso-fssri/
- 58. Corte Constitucional [CC], octubre 5, 1995. M. P.: (magistrado(s) ponente) F., Morón-Díaz. Sentencia No. C-452 de 1995. (Colombia).
- 59. Reporte ENFICC y OEF. (2023, 13 enero). XM. Recuperado 20 de julio de 2023, de https://www.xm.com.co/transacciones/cargo-por-confiabilidad/informacion-verificacion-enficc/reporte-parametros-y-enficc-verificada-verificacion-anual-2022
- 60. Ibid.
- 61. La convocatoria fue surtida a través de la Resolución CREG 101 34A de 2022.

- 62. Principalmente, la Resolución 101-14 de 2023.
- 63. Flechas, L., Arias, J., Rueda, M., Pavón, G., & Pinzón, A. (2022). Eliminación gradual del carbón en la generación eléctrica en Colombia. En Transforma.global. Transforma. Recuperado 9 de junio de 2023, de https://transforma.global/eliminacion-gradual-del-carbon-en-la-generacion-de-energia-electrica/
- 64. Projecting the future lifetime cost of electricity storage technologies. (2015). Storage Lab. Recuperado 21 de junio de 2023, de https://www.storage-lab.com/levelized-cost-of-storage
- 65. Flechas, L., Arias, J., Rueda, M., Pavón, G., & Pinzón, A. (2022). Eliminación gradual del carbón en la generación eléctrica en Colombia. En Transforma.global. Transforma. Recuperado 9 de junio de 2023, de https://transforma.global/eliminacion-gradual-del-carbon-en-la-generacion-de-energia-electrica/
- 66. Informe de gobierno corporativo. (2022). En GECELCA. Recuperado 29 de julio de 2023, de https://www.gecelca.com.co/wp-content/uploads/2023/05/1.-INFORME-GOB.-CORP-GECELCA-2022_compressed.pdf
- 67. Nosotros Termotasajero SA ESP. (2023, 20 abril). Termotasajero SA ESP. Recuperado 14 de agosto de 2023, de https://termotasajero.com.co/nosotros/
- 68. Gensa Andeg. (2022, 29 noviembre). Andeg. Recuperado 7 de agosto de 2023, de https://www.andeg.org/empresas-asociadas/gensa/
- 69. Sochagota. (2019). ContourGlobal. Recuperado 3 de julio de 2023, de https://www.contourglobal. com/asset/sochagota (Traducción propia)
- 70. Enel-Emgesa. (2018). Grupo Enel Colombia. Recuperado 23 de junio de 2023, de https://www.enel.com.co/es/inversionista/enel-emgesa.html
- 71. Estructura organizacional. (2018). Grupo Enel Colombia. Recuperado 9 de junio de 2023, de https://www.enel.com.co/es/inversionista/enel-colombia/estructura-organizacional.html



- @polentjcol
- **⊗ @polentjcol**
- in POLEN Transiciones Justas
- **www.polentj.org**