

Ruta de transición energética

ZERO GREENHOUSE GAS EMISSIONS ROADMAP PARA COLOMBIA:

Diagnóstico, perspectivas y lineamientos
para definir estrategias ante el cambio
climático

Resumen ejecutivo

2020





Este estudio propone rutas de transición energética que conducen a la descarbonización del sector energético en Colombia y la evaluación del conjunto de medidas de mitigación de emisiones necesarias para este fin. Los resultados muestran, que las políticas actuales están alineadas con los objetivos planteados en la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC), al mismo tiempo que hay **oportunidades para alcanzar objetivos de mitigación más ambiciosos**. El análisis inicia mostrando como la NDC colombiana¹ dista de estar alineada con trayectorias compatibles con la carbono neutralidad para el logro de los objetivos de estabilización del clima global. Al evaluar diferentes escenarios de emisiones, combinando el comportamiento esperado de factores económicos, energéticos y ambientales, se encuentra que la trayectoria de emisiones de la NDC colombiana 2015 avanza dentro del túnel de probabilidad de ocurrencia de un escenario tendencial. Esto significa que hay oportunidad para proponer escenarios de mitigación de mayor ambición, y que, incluso con las tecnologías disponibles actualmente, es posible avanzar hacia escenarios de mayor reducción de emisiones.

Al perseguir objetivos de descarbonización profunda, es común encontrar desafíos de barreras tecnológicas, de regulación y de inversión en tecnologías que pueden tener un costo elevado. Sin embargo, **cuanto más se retrase la implementación de las medidas de intervención, mayores serán los requerimientos de reducción de emisiones a imponer en corto plazo y por lo tanto también sus costos de implementación**. En ese sentido, es importante resaltar que, según el IDEAM², Colombia es uno de los países más vulnerables al cambio climático y que **los costos de un esfuerzo tardío, pueden poner en peligro la seguridad económica y social del país**. A continuación, se analizan los marcos institucionales, financiero, económico y regulatorio, con el fin de alentar la discusión sobre el objetivo de la descarbonización en el contexto colombiano.

1. Introducción

La descarbonización no es sólo un desafío ambiental sino un imperativo de la supervivencia humana, la evidencia científica demuestra los impactos que tiene el Cambio Climático y la necesidad de un esfuerzo combinado de todos países para impedir sus graves consecuencias.

Colombia tiene varios frentes de trabajo con miras a ese objetivo. Tan sólo su matriz energética tiene una alta participación de combustibles fósiles y poca participación de fuentes renovables no convencionales, lo cual da pie a pensar en las oportunidades para la diversificación y conformación de una matriz más limpia y que además aporte seguridad y confiabilidad al país. Esto, por supuesto, plantea desafíos de sustitución de combustibles, por ejemplo, en la producción de energía eléctrica a partir de gas y carbón durante periodos de escases como el fenómeno de El Niño. Sin embargo, la última subasta de capacidad en Colombia ha demostrado que invertir en recursos renovables eléctricos, genera una reducción de costos para los consumidores finales y en el mediano y largo plazo, aumenta la resiliencia del sistema.

Descarbonizar en el corto plazo también impone desafíos económicos redistributivos de los sectores. **Equilibrar la seguridad energética, la equidad social y la sostenibilidad ambiental de Colombia, en el marco de la descarbonización, es un reto del diseño de políticas y más aún, de su implementación**. Por otro lado, la estabilización del clima global para mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C requiere que las emisiones netas de carbono sean cero al 2050. Lo anterior significa, para el sector energético, que en el largo plazo el uso de energía no debe emitir gases de efecto invernadero a la atmosfera. Sin embargo, la descarbonización del sector

¹ La República de Colombia se comprometió, con base en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero para el año 2010, a reducir sus emisiones de gases efecto invernadero en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030. Sujeto a la provisión de apoyo internacional, Colombia podría aumentar su ambición para pasar de una reducción del 20% hasta una del 30% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030.

² Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales es una entidad del gobierno de Colombia dependiente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se encarga del manejo de la información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente en Colombia.

energético no es en sí una medida suficiente para que Colombia alcance la carbono neutralidad en el mediano plazo. Además, es necesario ahondar esfuerzos por detener la deforestación neta, la cual, no debería considerarse como una compensación permanente sino como un apoyo durante el proceso de transición hacia la carbono neutralidad. En el mediano plazo los esfuerzos por aumentar los sumideros naturales de carbono pueden ser una solución temporal para reducir las emisiones.

Ciencia, política y economía buscan el camino para maximizar los beneficios ambientales y sociales de la transición energética y con ella la descarbonización, y todo este análisis se puede realizar con ejercicios de modelación como el que aquí se presenta. El análisis descrito a continuación se realiza de forma prospectiva, con la información actual que, aunque limitada, proporciona los elementos necesarios para discutir las **bondades y retos de la descarbonización en Colombia**.

1.1 Objetivos

El objetivo de este estudio es revisar las metas de mitigación actuales y evaluar el potencial para alcanzar metas más ambiciosas de cara a los compromisos asumidos por Colombia ante la COP³. A partir del potencial encontrado, **diseñar y evaluar un conjunto de medidas de mitigación de emisiones para contribuir a cerrar la brecha entre la trayectoria de emisiones de la NDC colombiana y las trayectorias compatibles con el logro de los objetivos de estabilización del clima global, particularmente en el sector energía**.

2. Medidas de mitigación

El conjunto de medidas de mitigación que se proponen en este documento parte de los estudios realizados con anterioridad en el país. La identificación y evaluación de dichas medidas se puede dividir en dos grupos. Primero, el conjunto de aquellas medidas que se evaluaron en la definición de la NDC ajustadas a los niveles de penetración y costos de implementación actuales y, segundo, las medidas alternativas nuevas o no consideradas por su costo que posibilitan altos niveles de descarbonización a 2050.

Estas medidas además se categorizan como de: 1) eficiencia energética y en el uso de materiales, 2) sustitución de combustibles y de materiales, 3) introducción de nuevas tecnologías y 4) cambios en los patrones de consumo. Con base en lo anterior y a partir del análisis del potencial de mitigación en los sectores de energía, transporte, edificaciones e industria, se han definido una serie de medidas de mitigación que se resumen a continuación.

2.1 Generación y Demanda Eléctrica

El análisis de las medidas de mitigación en generación eléctrica se realiza a partir de tres componentes: identificación de la **demanda de electricidad, expansión de capacidad para atender esta demanda** (aumentada por electrificación y reducida, en menor medida, por eficiencia) **e identificación de tecnologías y estimación del potencial de mitigación**. La demanda parte de las proyecciones de energía y potencia máxima oficiales, ajustadas a las expectativas de crecimiento económico y de posible penetración de generación distribuida, y vehículos eléctricos y mejoras en eficiencia energética.

La expansión de capacidad está definida en el periodo 2020-2050, considerando los proyectos definidos en esquema de cargo por confiabilidad (CxC), los proyectos que fueron adjudicados en la subasta de contratos de largo plazo en 2019 y nuevas alternativas para aumentar la capacidad. Los escenarios de expansión propuestos incluyen una participación de renovables, incluida la energía hidroeléctrica convencional, entre el 73% y 92% para 2050. Además, se considera un aumento de capacidad instalada de fuentes renovables para la producción de hidrógeno (H₂), y de parte de éste para su transformación en gas natural sintético.

³ Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático entre las Partes/Participantes.

A pesar del incremento previsto para la demanda eléctrica en este análisis, el potencial mínimo de reducción emisiones respecto al escenario BAU⁴ de la NDC 2015, se mantiene en alrededor de 25% en 2030 para estar alineados con la reducción máxima prevista en la NDC. Para poder responder a mayores niveles de ambición hay que considerar en el portafolio de opciones tecnologías disruptivas y por el momento más costosas.

2.2 Transporte

Para el sector transporte se analizaron diferentes medidas de mitigación considerando: (i) actualización de costos de medidas de la NDC en transporte eléctrico; (ii) medidas evaluadas para la NDC en diferentes (normalmente mayores) grados de aplicación; (iii) opciones adicionales a las de la NDC sobre el uso de electricidad e hidrógeno. Es bueno anotar, que **la movilidad eléctrica y por ende la instalación de recursos energéticos distribuidos y la modernización de la red son estrategias claves para el aumento de los niveles de ambición**. El contenido de carbono de la electricidad en Colombia es bajo pero la intensidad de carbono en el transporte es alta.

En el documento se muestra la evaluación del potencial de mitigación de diferentes portafolios de medidas, y su comparación con el potencial de mitigación requerido en escenarios teóricos de descarbonización. Estos portafolios consideran una mayor ambición en la electrificación del transporte respecto a los lineamientos de la Ley Nacional de Transporte Eléctrico (Ley 1864 de 2019), y **la introducción del hidrógeno** en los segmentos de transporte más probables a utilizar este portador energético según la literatura.

En este sector, un **45% de la mitigación está asociada al uso de flota eléctrica**. El principal cobeneficio de la electrificación del transporte, en especial en las zonas urbanas del país, es la mejora de la calidad del aire. Las medidas de movilidad eléctrica analizadas en transporte público, incluyendo el individual (taxis), colectivo y masivo, son acciones gana-gana, debido a las trayectorias de reducción de costos de la tecnología. Sin embargo, los resultados indican que sólo con cambios tecnológicos no es posible estabilizar las emisiones, por lo que se requieren además intervenciones de gestión de la demanda y cambio modal.

2.3 Edificaciones

Para este sector se analizan las emisiones que se generan en los **procesos de producción de materiales, diseño y construcción, y en la etapa de operación**. Siendo las etapas de operación y producción de materiales presentan el mayor potencial de mitigación, lo que conduce a plantear medidas de eficiencia en estos procesos.

De las medidas propuestas, las de mejor costo-eficiencia son aquellas encaminadas a implementar mejoras en la arquitectura de edificaciones nuevas en los segmentos de vivienda y edificaciones comerciales. Por otro lado, las de menor costo-eficiencia corresponden a aquellas enfocadas en la mejora de sistemas de ventilación en el sector comercial, y en la renovación (retrofit) de viviendas.

Las medidas sobre materiales constructivos generan potenciales de abatimiento significativos. El desarrollo y crecimiento en centros urbanos es propiciador de necesidades de vivienda y por ende de densificación de las áreas urbanas, así como demanda de confort por parte de sus habitantes. Al respecto, las medidas de mitigación se deben alinear con reglamentos de construcción sostenible.

2.4 Industria

Después del transporte, el sector industrial es el segundo mayor consumidor de energía final, y los usos térmicos asociados a la producción de calor directo e indirecto constituyen más del 85% del total de su energía consumida.

⁴ Escenario de referencia o histórico, conocido como "Business As Usual".

Por esta razón, las **medidas de mitigación en este sector se encuentran principalmente en eficiencia energética, sustitución de combustibles, e introducción de nuevas tecnologías.**

En términos de eficiencia energética, hay esfuerzos en mejoras en las eficiencias de combustión, generación de calor y utilización de fuerza motriz. Estas medidas se pueden complementar con buenas prácticas en la operación y mantenimiento, monitoreo y control, control de procesos, y actualización tecnológica de equipos y procesos en todos los sectores industriales. Son opciones que ofrecen un potencial teórico de mitigación importante; no obstante, hay que tener en cuenta las barreras técnicas, de información, financieras e institucionales que retardan su implementación.

En cuanto a sustitución, se priorizaron aquellos sectores industriales donde el consumo de combustibles sólidos es considerable, como los de Minerales no metálicos, Alimentos, Productos textiles, y Papel y cartón. Para el calentamiento directo, se analizaron medidas de sustitución a gas natural y combustión combinada con biomasa para los sectores de productos alimenticios y minerales no metálicos al ser los que más consumen carbón. Para el calor indirecto, se incluyeron medidas de sustitución a gas natural y biomasa, y combustión combinada con este último.

Finalmente, se consideraron medidas de introducción de nuevas tecnologías para la sustitución de gas natural por hidrógeno azul a partir de la siguiente década aprovechando la capacidad de generación eléctrica con renovables y la facilidad de este combustible para sustituir los combustibles fósiles para usos térmicos.

Los resultados muestran el significativo potencial que tiene la sustitución de carbón por gas natural y biomasa en la industria para usos térmicos. Los análisis indican que la primera puede ser una alternativa de corto y mediano plazo y que hay que trabajar en la segunda, que muestra menores costos por tonelada reducida de CO₂ equivalente, debido al mayor potencial de mitigación que tiene la biomasa, al considerarse y con un buen manejo ser carbono neutral. Lo anterior señala a la **biomasa como un mecanismo importante de mitigación en la industria para el mediano y largo plazo**. Igualmente, los análisis muestran que el **hidrógeno es importante para que la industria alcance la carbono neutralidad en el 2050**. En compañía de la biomasa, estos dos pueden evitar el lock-in de los combustibles fósiles para la generación de calor.

3. Escenarios de análisis

El año de base de este análisis es 2015 y el horizonte de planeamiento es 2015 – 2050. La línea base de emisiones fue construida teniendo en cuenta comportamientos esperados en población, PIB, carbono intensidad (Gg CO₂/unidad de energía) e intensidad energética (energía/PIB). En 2050, el sector de energía se convierte en la mayor fuente de emisiones en Colombia, superando el sector AFOLU⁵.

Se desarrollan 3 escenarios de mitigación, cada uno aumentando de manera progresiva la ambición en la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) con respecto a la NDC colombiana de 2015⁶. Estos escenarios se formularon y evaluaron tomando en consideración las circunstancias del momento del sector energético y de la economía colombiana, pero anteriores a la pandemia por COVID-19.

NDC extendido: se construyó suponiendo que el nivel de esfuerzo de mitigación se mantendrá después de 2030, alcanzando una reducción de emisiones del 24% respecto al BAU en 2030, y del 29% en 2050. Estas reducciones se

⁵ Sector de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra.

⁶ Proyectada a 2030 con implementación de 71 medidas de mitigación. Costo de medidas de la NDC es inferior a 20 USD/ton CO₂eq.



logran con 89 acciones en generación eléctrica y transporte, 67 se habían considerado en la NDC y 22 medidas son nuevas. Los costos reducción son en promedio es inferiores a USD 20/t CO₂.

Increased Effort: se construyó a partir del escenario anterior incluyendo medidas adicionales. Son 118 medidas: 86 ya consideradas en la NDC y 32 medidas nuevas. Tiene en cuenta masificación de transporte eléctrico, redes inteligentes con generación distribuida, entre otras. En este escenario se logra una reducción del 53.4% respecto al BAU en 2050. El costo de las medidas consideradas no supera los 70 USD/t CO₂.

Green Development: se construyó con el objetivo de alcanzar la carbono neutralidad en Colombia y ajustando la ambición de las medidas hasta el límite técnico. Son 131 medidas de mitigación: 86 ya consideradas en la NDC y 45 medidas nuevas. La reducción lograda es de 67% en 2050. Esto requiere de la comercialidad de varias tecnologías que componen medidas de mitigación para el aprovechamiento de la biomasa, del hidrógeno y de captura de carbono.

3.1 Alcance de cumplimiento y brechas

Aumentar la ambición de las medidas de mitigación para cerrar la brecha que existe con un escenario de carbono neutralidad plantea desafíos en principios de equidad, como el de desarrollo económico, promover competitividad y reducir emisiones simultáneamente.

Se ha encontrado que la electrificación del transporte debería tener mayores impulsos en las flotas masivas, oficiales y públicas. A pesar de que existen los instrumentos de política, legales, regulatorios y, en menor medida financieros, es necesario ser más audaces para lograr masificar esta alternativa que presenta muy buenas perspectivas para el país. Teniendo en cuenta que el transporte es el mayor consumidor de energía final en Colombia, se necesitará de la introducción de nuevas tecnologías, más eficientes y de menor intensidad de carbono como los vehículos eléctricos. Lo anterior debe estar acompañado de cambios en la manera de organizar las ciudades y en los patrones de movilidad. Así mismo, mejores opciones para los sistemas de transporte de carga son también importantes.

El país deberá seguir invirtiendo en tecnologías de bajo contenido de carbono. **En el corto plazo, con renovables y gas natural. En el mediano plazo, avanzar hacia la electrificación de la economía y la sociedad. Y en largo plazo, se ha identificado el hidrógeno como un actor clave en este proceso. Por otro lado, para lograr la carbono neutralidad es necesario que se involucren sectores como el forestal,** que en la actualidad es el de mayor nivel de emisiones en el inventario nacional.

El documento presenta una evaluación tanto los costos como los beneficios de la implementación de medidas de mitigación mediante una estimación de daños que se evitaría al reducir emisiones en Colombia. Esto se hace a través de un **análisis del costo social del carbono**⁷. Es importante anotar, que hay aspectos importantes a tener en cuenta cuando se realiza este tipo de análisis y comparaciones por los niveles futuros de emisión, los efectos de las emisiones pasadas y futuras sobre el clima, los impactos del cambio climático en los sistemas físicos y biológicos, y la equivalencia de esos impactos en unidades monetarias, por lo cual los resultados obtenidos no son definitivos.

⁷ El costo social del carbono es una estimación monetaria de los daños causados por un incremento en las emisiones de carbono en un año dado.

4. Instrumentos Regulatorios y Financieros.

Los instrumentos regulatorios y financieros deben alinearse con el nivel de ambición de reducción de emisiones a nivel nacional, buscando la eficiencia económica para la implementación de medidas, y un balance con otros objetivos ambientales y sociales del país.

- **Tributos - Precio al carbono.** Colombia examina la posibilidad de extender el impuesto al carbono y de incorporar otras opciones como un sistema de comercio de emisiones, según lo previsto en la legislación de cambio climático y atendiendo las recomendaciones de la OECD, con el fin de ampliar la participación de sectores de manera costos eficiente y viabilizar mayores potenciales de mitigación.
- **Instrumentos para suministro de energía.** Colombia puede **acelerar el desarrollo de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), de redes inteligentes, medición inteligente, así como de almacenamiento y participación de la demanda.** También, iniciar la exploración del uso de otros energéticos como la **biomasa y los residuos, la geotermia, y el hidrógeno** con el objetivo de diversificar la matriz energética. Existen desafíos de articulación regulatoria e institucional mediante esquemas de promoción que permitan diversificación en las plataformas de servicios para darle más dinámica al mercado de recursos distribuidos.
- **Instrumentos para una movilidad sostenible.** Para el transporte urbano, de pasajeros y carga se requiere de una regulación de externalidades, incentivos para nuevas tecnologías, eliminación de subsidios a los combustibles fósiles, un marco institucional y regulatorio alineado en los niveles nacional, regional y local, y complementado con políticas de educación y desarrollo productivo. Se requiere también el uso instrumentos existentes como impuestos, contribuciones y tasas y la creación de nuevas opciones de financiamiento. **Acelerar la movilidad eléctrica** requiere combinar diferentes políticas e instrumentos de manera creativa y acertada.
- **Instrumentos para vivienda y construcción sostenible.** Los materiales de construcción juegan un papel clave con respecto las medidas de mitigación relacionadas con la energía embebida de las edificaciones. Por esta razón, el Análisis de ciclo de vida (ACV) de estos materiales es un factor clave, alineados con reglamentos de construcción sostenible, para **incentivar la eficiencia energética y el consumo eficiente.** Esto también relacionado con la organización de los desarrollos urbanísticos nuevos y existentes y su nexa con las conurbaciones.
- **Instrumentos para el cambio tecnológico en la Industria.** El uso de combustibles de menor contenido de carbono conocidos y nuevos, así como las acciones de eficiencia energética son fundamentales para **reducir la intensidad de carbono y energética** en estos sectores de uso final. Lograr la migración a sistemas eléctricos se convierte en un desafío
- **Tecnologías de captura, almacenamiento y secuestro de carbono.** A pesar de las reservas frente la utilización de estas tecnologías aún en etapa de desarrollo es importante **estar atentos a su desarrollo y contribución para para la aumentar la reducción de gases** contaminantes: la aforestación y reforestación son acciones que el país debe priorizar. También los desarrollos agrosilvoparstoriles.

5. Mensaje Final

La transformación energética para Colombia está determinada por políticas públicas, voluntades nacionales y tendencias tecnológicas mundiales aplicadas localmente, que van más allá del cambio climático per se que impactan positivamente el bienestar de los ciudadanos por beneficios como mejor calidad del aire, seguridad del suministro, el crecimiento verde, la economía circular al alcanzar un desarrollo sostenible y resiliente. El gran reto consiste en consolidar una capacidad científica, técnica y política articulada capaz de poner en marcha las decisiones que se requieren de manera coordinada entre sectores y territorios con una clara identificación de los costos y beneficios de las diferentes medidas a implementar con la participación del sector privado y la cooperación de la sociedad en general.