



Recomendaciones para la inclusión de contaminantes climáticos de vida corta en ejercicios de estimación y evaluación de medidas de mitigación en escalas subnacionales

Sara C. Grisales Vargas

Consultora en Contaminantes Climáticos de Vida Corta
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Con el apoyo del Stockholm Environment Institute

Entregable preparado para la Coalición Clima y Aire Limpio

Realizado en el marco del contrato No. 2500238039

Bogotá D.C. Colombia

Abril de 2021

Contenido

1.	Antecedentes	5
2.	Contaminantes climáticos de vida corta (CCVC)	8
3.	Metodología para la estimación de emisiones de carbono negro	10
3.1.	Información de actividad	12
3.1.	Factores de emisión	16
3.2.	Herramienta de construcción de escenarios: LEAP	18
4.	Emisiones de carbono negro en Colombia 2010-2014	19
5.	Compromiso de mitigación de carbono negro en Colombia	22
5.1.	Prioridades de mitigación de carbono negro en Colombia	24
5.2.	Meta de mitigación de carbono negro en la NDC.....	26
6.	Acciones para disminuir emisiones de carbono negro	27
7.	Recomendaciones	31
8.	Referencias.....	32
	Anexo 1. Actividades evaluadas en el inventario de emisiones de carbono negro 2010-2014 (IDEAM, 2020)	35

Lista de tablas

Tabla 1. Grupos IPCC (Categorías) y sectores incluidos en el Inventario Indicativo Nacional de Carbono Negro y Contaminantes Criterio 2010-2014 (IDEAM, 2020)	12
Tabla 2. Resumen de las fuentes de información base consultadas por sector, en el desarrollo del Inventario Indicativo Nacional de Carbono Negro y Contaminantes Criterio 2010-2014 (IDEAM, 2020)	13
Tabla 3. Factores de emisión de hornos estimados para la industria ladrillera de Colombia (Corporación Ambiental Empresarial CAEM, 2020)	18
Tabla 4. Factores de emisión para fogones tradicionales y estufas eficientes de leña I.A.4 - EMEP/EEA 2019.....	18
Tabla 5. Descripción de las medidas evaluadas por su potencial en reducción de emisiones de carbono negro	23
Tabla 6. Potencial de reducción de carbono negro incluyendo las medidas de mitigación de GEI y las adicionales	25
Tabla 7. Co-beneficios en reducción de emisiones de carbono negro de los esfuerzos de mitigación de GEI en el marco de la actualización de la NDC	25
Tabla 8. Medidas de control para reducir emisiones de CCVC (CCAC, 2018).....	28

Lista de figuras

Figura 1. Esquema general de líneas de acción de la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (MADS, 2020)	7
Figura 2. Contaminantes climáticos de vida corta (Climate and Clean Air Coalition, 2014) 9	
Figura 3. Comparación de las emisiones totales y las posibles reducciones de carbono negro con factores de emisión internacionales (CAEM & CCAC, 2020) (a) y locales (b)	17
Figura 4. Emisiones totales de carbono negro y contaminantes criterio entre 2010 y 2014 (IDEAM, 2020)	21
Figura 5. Emisiones totales de Carbono Negro en toneladas para el año 2014 (IDEAM, 2020)	21
Figura 6. Meta de reducción de emisiones de carbono negro a 2030, comprometida en la actualización de la NDC	27

1. Antecedentes

Actualmente, la contaminación del aire y el cambio climático son dos desafíos ambientales que se enfrentan a nivel mundial. El incremento en la frecuencia, intensidad y magnitud de eventos climáticos extremos; cambios graduales en la temperatura y precipitación que van transformando progresivamente el clima de una región (IPCC, 2014); además del aumento del riesgo de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, asociada a la contaminación del aire (Camilo Blanco-Becerra et al., 2014; Luong et al., 2017), son algunos de los impactos asociados a estas dos temáticas, que por su magnitud, generalmente son incluidos en los lineamientos de planificación estratégica, con el fin de mitigar sus efectos sobre la salud, la producción de alimentos y la economía nacional.

El Acuerdo de París, adoptado en Colombia a través de la Ley 1844 de 2017, es la apuesta más ambiciosa para hacer frente al cambio climático y acelerar e intensificar las acciones e inversiones necesarias para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono. Con el fin de mantener el incremento de la temperatura global por debajo de los 2°C, y en lo posible que no alcance los 1.5°C de temperatura respecto a la era industrial, se establecen las metas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) que los países deben llevar a cabo; mediante la implementación de Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC).

Algunas de las medidas de reducción de emisiones de GEI, que son asociados principalmente al cambio climático por su capacidad de absorber la radiación infrarroja, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera, están asociadas al control y reducción de las emisiones generadas por procesos antropogénicos, como: las actividades industriales, el tráfico vehicular, la agricultura, la producción y quema de combustibles y biomasa. Sin embargo, existen otras sustancias que por ser emitidas por las mismas fuentes y por su potencial de forzamiento climático, han sido de gran interés en temas de cambio climático; estos son los Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC), como: el carbono negro (CN), el metano (CH₄), el ozono troposférico (O₃) y los hidrofluorocarbonos (HFC), los cuales tienen una vida más corta en la atmósfera, en comparación con el dióxido de carbono (CO₂), y afectan la salud del ser humano y el bienestar de los ecosistemas (MADS, 2020).

A pesar de que el cambio climático y la contaminación del aire generalmente se originan de las mismas fuentes antropogénicas, históricamente, el estudio y manejo de estas temáticas ha sido objeto de diferentes enfoques, por lo que se ha sugerido la importancia de generar sinergias entre las estrategias para abordar el cambio climático y los CCVC, con el fin de reducir la influencia de ambos problemas y lograr el objetivo climático a largo plazo (Hanaoka & Masui, 2017, 2020; Krecl et al., 2019; Maione et al., 2016).

Colombia es país socio de la Coalición de Clima y Aire Limpio desde 2012, siendo este un primer esfuerzo global para hacer frente a los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), como medida adicional a los esfuerzos de reducción de las emisiones de gases de

efecto invernadero (GEI). Con el apoyo de la iniciativa SNAP (Apoyo a las acciones y planificaciones nacionales sobre CCVC - *Supporting National Action & Planning on Short-lived Climate Pollutants*) de la Coalición, establecida en 2013, la cual ayuda a los socios a resolver múltiples desafíos relacionados a los CCVC a escala nacional, como la falta de datos, capacidad de coordinación y conciencia política y estratégica, el país ha participado activamente para lograr desplegar diferentes iniciativas.

A partir de la Estrategia Nacional de Calidad del Aire, la cual busca reducir las concentraciones de contaminantes atmosféricos, mediante la promoción de iniciativas de formalización, competitividad, productividad y eficiencia energética en la industria, se mencionan los CCVC como un foco importante para la mejora de la calidad del aire en el país y la reducción de los impactos del cambio climático (MADS, 2019). Como resultado de la evaluación de los posibles impactos de contaminantes atmosféricos, con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para Medio Ambiente, la Coalición de Clima y Aire Limpio y el *Stockholm Environment Institute- SEI*, se desarrolló la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta, la cual tiene como objetivo principal potenciar acciones que contribuyan a la reducción de emisiones de contaminantes climáticos de vida corta en Colombia en el corto y el mediano plazo (MADS, 2020).

En la Estrategia se destaca la importancia de establecer sinergias de diversas medidas de control de contaminantes atmosféricos y bajas emisiones de carbono para evaluar posibles escenarios de mitigación para reducir los CCVC, planteando los siguientes objetivos específicos y las diferentes líneas de acción descritas en la Figura 1 (MADS, 2020):

1. Adaptar mecanismos de gestión de la información relacionada con los contaminantes climáticos de vida corta, para facilitar la toma de decisiones y el desarrollo de una gestión de mitigación articulada entre las diferentes instituciones.
2. Adoptar y promover el uso de herramientas especializadas que permitan estimar el costo beneficio y los beneficios múltiples asociados a la reducción de emisiones de contaminantes climáticos de vida corta, de las diferentes acciones de mitigación del cambio climático y de reducción de la contaminación del aire, para crear sinergias entre las diferentes estrategias y programas de gobierno.
3. Fortalecer la capacidad institucional para promover la reducción de emisiones de contaminantes climáticos de vida corta.
4. Replicar los casos de éxito de aplicación de las herramientas adoptadas para potenciar y promover nuevas acciones de mitigación de contaminantes climáticos de vida corta mediante la elaboración de metodologías de aplicación para otros sectores o regiones.
5. Visibilizar la contribución al fortalecimiento institucional y al cumplimiento de metas de gestión, de las herramientas adaptadas o diseñadas.

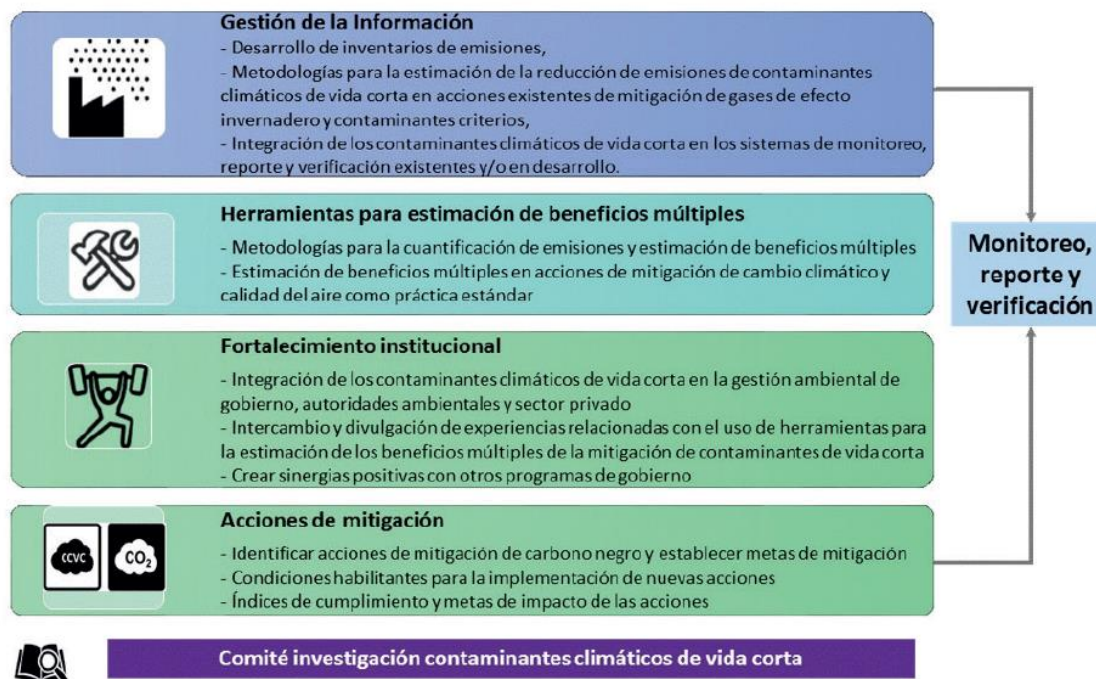


Figura 1. Esquema general de líneas de acción de la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (MADS, 2020)

Por otro lado, con el apoyo de la Coalición de Clima y Aire Limpio, en el marco de los CCVC se han desarrollado las siguientes iniciativas: la definición de factores de emisión locales para carbono negro y otros contaminantes en diferentes tecnologías de hornos en industrias ladrilleras y la validación de proyectos de reconversión tecnológica en el sector ladrillero; el desarrollo del Primer Inventario Nacional Indicativo de Emisiones de Carbono Negro y Contaminantes Criterio, 2010 - 2014 (IDEAM, 2020), entre otras. Estas iniciativas han sido un gran insumo para mejorar el nivel de comprensión de las principales fuentes de emisión de los CCVC, la magnitud de las mismas y el potencial de mitigación, permitiendo la toma de decisiones informadas.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (Minambiente) avanza hacia la implementación de la Estrategia Nacional de Contaminantes Climáticos de Vida Corta, la cual proporciona metas y acciones para reducir las emisiones de estos contaminantes en el país, y pueden ser integradas en la planificación y formulación de políticas públicas. Esta estrategia busca aumentar la integración de esfuerzos de mitigación de los CCVC en los procesos de planificación nacional, como en la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (ENCA) y el CONPES 3943: Política Para la Mejora de la Calidad del Aire.

Para Colombia, el compromiso adoptado con la primera versión de la NDC en 2015, relacionado con las metas mitigación del cambio climático consistió en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del 20% respecto a lo proyectado a 2030. A finales

de 2020, con apoyo del Stockholm Environment Institute (SEI), en el marco de la actualización de la NDC de Colombia se contempló por primera vez la inclusión de los CCVC, específicamente del carbono negro. Basándose en el Primer Inventario Nacional Indicativo de Emisiones de Carbono Negro y Contaminantes Criterio, 2010 - 2014 (IDEAM, 2020), el cual representó el punto de partida para evaluar las principales fuentes de emisión y la reducción en las emisiones del contaminante, teniendo en cuenta los esfuerzos comprometidos en reducción de GEI y poniendo especial énfasis en acciones adicionales dirigidas a mitigar las emisiones de carbono negro y otros contaminantes criterio, se estableció una meta de reducción de carbono negro del 40% a 2030, con el fin de aumentar la ambición en las medidas orientadas a mitigar el cambio climático y mejorar la calidad del aire, maximizando los beneficios locales de la implementación de la NDC.

Con el fin de apoyar la implementación de la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta y de las medidas comprometidas para la NDC en materia reducción de emisiones de carbono negro, se desarrolla este documento para proporcionar lineamientos de inclusión e integración de los CCVC con los ejercicios de estimación de emisiones de GEI y/o contaminantes del aire y de evaluación de posibles medidas de mitigación, a nivel sub-regional.

2. Contaminantes climáticos de vida corta (CCVC)

Los contaminantes climáticos de vida corta se definen como aquellos compuestos, gases o aerosoles, que presentan un potencial de absorción de energía solar y por tanto estos contaminantes contribuyen al calentamiento de la atmósfera, además de tener un tiempo de residencia relativamente corto en la atmósfera, es decir desde algunas semanas hasta 15 años, en comparación con el tiempo de residencia del dióxido de carbono (CO_2) que se estima en cerca de 100 años. Los principales contaminantes climáticos de vida corta son el carbono negro (BC – *Black carbon* por sus siglas en inglés), el gas metano (CH_4), el ozono troposférico (O_3) y algunos hidrofluorocarbonos (HFC) de vida corta. Cada una de estas sustancias presentan diferentes fuentes de emisión, tiempo de residencia y escala de impactos (ver Figura 2), por ejemplo, el carbono negro permanece en la atmósfera algunos días, mientras que los HFC de vida corta pueden permanecer aproximadamente 15 años (MADS, 2020).

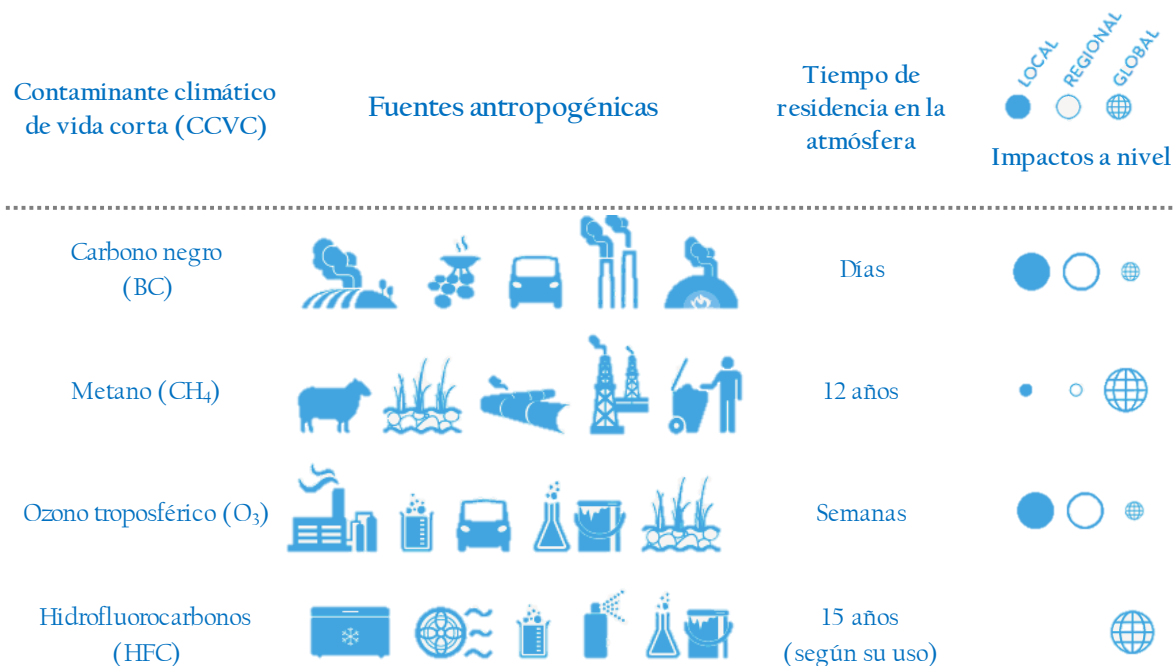


Figura 2. Contaminantes climáticos de vida corta (Climate and Clean Air Coalition, 2014)

El **carbono negro (CN)** es el principal componente del hollín, el cual se forma principalmente durante la combustión incompleta de combustibles fósiles o biomasa, es decir que es emitido cuando existe una limitante de oxígeno y calor disponible en el proceso de combustión. Por ser un componente del material particulado menor a 2.5 µm (PM_{2.5}), el carbono negro tiene efectos negativos en la salud, debido a que la exposición a elevadas concentraciones de PM_{2.5}, se encuentra asociada a enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Atkinson et al., 2016). Además, se estima que el carbono negro es un poderoso forzador climático, cerca de 1600 veces más potente que el CO₂ sobre un periodo de 20 años (IPCC, 2007). A nivel mundial, se estima que el carbono negro se emiten principalmente por los incendios forestales, las quemadas agrícolas, el sector transporte, que utiliza diésel como combustible, y el sector residencial e industrial, que utilizan carbón y biomasa como combustible (UNEP & WMO, 2011).

El **metano (CH₄)** es un hidrocarburo y es el principal componente del gas natural. Tiene un tiempo de permanencia en la atmósfera corto en comparación con el CO₂ y es considerado un potente gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global 28-36 veces mayor que el del CO₂ en 100 años. Cerca del 60 % de las emisiones de metano corresponden a fuentes antropogénicas, emitidas principalmente durante la explotación y el transporte de carbón, gas natural y petróleo, algunas actividades agrícolas y debido a la descomposición de residuos orgánicos en rellenos sanitarios y en plantas de tratamiento de aguas residuales. Las emisiones de CH₄ continúan aumentando, convirtiéndolo en el segundo gas de efecto

invernadero generado por el ser humano más importante, después del CO₂ (Saunois et al., 2016).

El **ozono troposférico (O₃)** es gas reactivo que, al encontrarse cerca de la superficie terrestre, es un importante gas de efecto invernadero y contaminante del aire, siendo un componente del smog urbano, el cual afecta la salud, los ecosistemas y el rendimiento de cultivos agrícolas. Es un contaminante secundario, es decir que no es emitido directamente por ninguna fuente, sino que es producto de una reacción fotoquímica (en presencia de radiación ultravioleta) en donde participan como principales precursores, los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), incluido el metano. Se considera un CCVC, con un tiempo de permanencia en la atmósfera entre horas y semanas (UNEP & WMO, 2011).

Los **hidrofluorocarbonos (HFC)** son químicos industriales producidos de manera comercial como sustituyentes de las sustancias agotadoras de ozono (clorofluorocarbonos-CFC). Tienen un tiempo de permanencia en la atmósfera corto, en comparación con el CO₂, sin embargo, presenta un alto potencial de calentamiento global. Se utilizan principalmente en los sectores de aire acondicionado, refrigeración, espumas, aerosoles, entre otros (IPCC, 2007). Para reducir drásticamente la producción y el consumo de los HFC, estos compuestos han sido considerados en la enmienda al Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, acordada en Kigali (Ruanda) en 2016, en la cual se proyecta un calentamiento global de hasta 0,4°C, contribuyendo de manera sustancial a los objetivos del Acuerdo de París.

El resultado de las emisiones de GEI y CCVC, tiene varias consecuencias en el equilibrio climático, siendo algunos de los impactos: el aumento de la temperatura y acidificación de los océanos, ocurrencia de eventos extremos como olas de calor e inundaciones, impactos negativos sobre el rendimiento de cultivos poniendo en riesgo la seguridad alimentaria. Estos eventos son cada vez más frecuentes y permiten evidenciar la alta vulnerabilidad de los sistemas climáticos y los asentamientos humanos a eventos relacionados con el clima (IPCC, 2014).

3. Metodología para la estimación de emisiones de carbono negro

Los inventarios de emisiones son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones, debido a que son el punto de partida para la implementación, evaluación y ajuste de programas y medidas de control, tendientes a mejorar la calidad del aire. El enfoque más común para estimar las emisiones en un inventario (Ecuación 1), consiste en combinar información de los procesos de cada actividad, con información de las emisiones asociadas a los procesos de dicha actividad (factor de emisión) (MADS, 2017).

$$\text{Emisiones} = \text{Actividad} \times \text{Factor de emisión} \quad (1)$$

Para estimar las emisiones en cada sector clave, los datos de actividad específicos, los factores de emisión (FE) y las metodologías utilizadas se definen de acuerdo con las directrices internacionales sobre la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, siguiendo las pautas del inventario de emisiones de 2006 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y la guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/EEA (MADS, 2017).

En las directrices del IPCC existen diferentes niveles de cálculo que representan la complejidad metodológica y se pueden aplicar dependiendo de la disponibilidad y calidad de la información disponible. El Nivel 1 (*tier 1*) es el método de cálculo más simple y se basa normalmente en consumo de combustibles como dato de actividad y el uso factores de emisión por defecto. El Nivel 2 (*tier 2*) utiliza el mismo enfoque metodológico que el Nivel 1, pero puede incluir factores de emisión específicos del país o información más detallada como tecnologías de combustión. El Nivel 3 es un enfoque más complejo y puede incluir el uso de modelos o mediciones directas in situ para estimar factores de emisión más específicos. En general, se recomienda seleccionar métodos de niveles más altos, por ser métodos más robustos que arrojan estimaciones más confiables, sin embargo, esto está sujeto intrínsecamente a la disponibilidad de información requerida para cada nivel (MADS, 2017).

Dependiendo de la disponibilidad de información, un inventario de emisiones se puede desarrollar desde un enfoque “de arriba hacia abajo” (*top-down*), en donde se parte de información general o agregada (macro); esta aproximación se utiliza en los métodos de Nivel 1. Por otro lado, si se tiene información específica (micro), o más detallada, se utiliza un enfoque “de abajo hacia arriba” (*bottom-up*); utilizado en los métodos de Nivel 3. (MADS, 2017).

Previamente se ha mencionado que las emisiones de carbono negro dependen del proceso de combustión, calidad de combustible y/o tecnología utilizada, haciendo necesaria la disponibilidad de información detallada de la actividad emisora. Por ejemplo, en el sector industrial, las emisiones de carbono negro en la producción de ladrillos están influenciadas por el tipo de horno y de combustible utilizado; al igual que en el sector doméstico, dependerán del tipo de cocina y tipo de biomasa utilizada para la cocción de alimentos. Por esta razón, para estimar las emisiones de carbono negro de manera robusta, se recomienda utilizar un enfoque de “de abajo hacia arriba”, a partir de información detallada de fuentes particulares y emisiones individuales, es decir que la opción óptima correspondería a utilizar métodos de Nivel 2 o 3 para la estimación. Para tal fin, se recomienda consultar la Guía de Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de EMEP/EEA 2019 (EEA, 2019) y las Directrices para la estimación de las emisiones de carbono negro de América del Norte (CCA, 2015).

Al ser el carbono negro un componente del material particulado, la estimación de las emisiones de éste se basa en el cálculo de emisiones de PM_{2.5}, por ende, es común la aplicación

de un factor de especiación, el cual indica el porcentaje de $PM_{2.5}$ que corresponde al carbono negro. El método general para estimar las emisiones de carbono negro está dado por la Ecuación 2, donde se utiliza el dato de actividad es específico de la subcategoría generadora de carbono negro, el factor de emisión de $PM_{2.5}$ ($FE_{PM_{2.5}}$) relacionado con la categoría de emisión, y el factor de especiación del carbono negro (CN/PM) (CCA, 2015).

$$Emisiones\ de\ CN = \sum [Actividad * FE_{PM_{2.5}} * (CN/PM)] \quad (2)$$

Información sobre el factor de emisión de $PM_{2.5}$ y el factor de especiación está disponible en las guías de EMEP/EEA 2019.

3.1. Información de actividad

En Colombia, con el desarrollo del Primer Inventario Nacional Indicativo de Emisiones de Contaminantes Criterio y Carbono Negro 2010-2014, se han priorizado las fuentes emisoras, con el fin de desarrollar políticas, estrategias, lineamientos o directrices para la reducción de las emisiones. Siguiendo las directrices internacionales sobre la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, del IPCC 2006 y la guía del EMEP/EEA, se identificaron los datos de actividad en cada sector clave (IDEAM, 2020). Para el este inventario, se realizaron estimaciones para cinco grupos, por su relación con la emisión de las sustancias de interés (Tabla 1), donde las actividades evaluadas para el cálculo de las emisiones de carbono negro y los contaminantes criterio para diferentes sectores, fueron: actividades relacionadas con la quema de combustibles (líquidos, sólidos, gas y biomasa), fuentes fugitivas, procesos industriales y uso de productos, sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU), y sector de residuos. En el Anexo 1 se mencionan todas las actividades evaluadas en el inventario, para cada sector.

Tabla 1. Grupos IPCC (Categorías) y sectores incluidos en el Inventario Indicativo Nacional de Carbono Negro y Contaminantes Criterio 2010-2014 (IDEAM, 2020)

Grupo IPCC	Sectores
1. Energía	1A1 Industrias de la energía
	1A2 Industrias manufactureras y de construcción
	1A3 Transporte
	1B Fugitivas y otros
2. Procesos industriales y uso de productos	2A Industria de los minerales
	2C Industria de los metales
3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	3B Gestión del estiércol
	3F Quemados de biomasa
4. Residuos	4C Incineración y quema abierta de residuos
11. Fuentes naturales	11Ba Incendios de bosques
	11Bb Incendios de praderas

Los datos de actividad son específicos para cada país. Específicamente en Colombia, esta información es generada por instituciones gubernamentales o se puede encontrar en reportes oficiales de los diferentes sectores económicos. En la Para el desarrollo del Inventario se utilizó la información disponible en las fuentes mencionadas en la Tabla 2. Específicamente para el ejercicio de estimación de las emisiones de carbono negro para la definición de la meta de reducción, en el marco de la actualización de la NDC, se utilizaron como información base para cada sector los siguientes reportes:

- Reporte de formulación de la NAMA Panela
- Reportes de Sostenibilidad del Sector Azucarero – ASOCAÑA
- Inventario Nacional del Sector Ladrillero Colombiano – 2015
- Balance Energético Colombiano - BECO, UPME
- Indicadores y proyecciones poblacionales del DANE
- Registro Único Nacional de Transporte - RUNT
- Resultados del Primer Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles de Uso Fuera de Carretera en Colombia (pendiente de publicación).

Tabla 2. Resumen de las fuentes de información base consultadas por sector, en el desarrollo del Inventario Indicativo Nacional de Carbono Negro y Contaminantes Criterio 2010-2014 (IDEAM, 2020)

Grupo IPCC (Sector)	Fuente de la información base empleado como factor de actividad
I Energía	
IA1 Industrias de la energía	Consumo de combustibles fósiles, leña o biomasa del balance energético nacional BECO que emite la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)
IA2 Industrias manufactureras y de la construcción	Consumo de combustibles fósiles, leña o biomasa del balance energético nacional BECO que emite la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)
IA3 Transporte	
IA3a Aviación civil	Actividad aeroportuaria en términos de ciclos LTO, que corresponde a un aterrizaje y un despegue sin importar que no se realicen de manera consecutiva. Esta información se obtuvo de las estadísticas operacionales, que emite la Unidad Administrativa de la Aeronáutica Civil. El consumo de combustible fósiles se obtuvo por diferencia, asumiendo que una

Grupo IPCC (Sector)	Fuente de la información base empleado como factor de actividad
	aeronave promedio de motor tipo A320, consume 816.20 Kg por ciclo LTO. Los consumos totales de combustibles fósiles para la aviación civil, nacional e internacional se obtuvieron del balance energético nacional BECO que emite la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)
1A3b Transporte terrestre	Kilometraje anual por vehículo para cada uno de los tipos vehiculares (automóviles, vehículos comerciales livianos, buses y micro-buses, vehículos pesado (camiones y tracto-camiones) y motocicletas) registrados como activos, en la base de datos del Registro Único Nacional de Tránsito – RUNT. Consumos de combustibles fósiles de cada tipo vehicular, información obtenida del balance energético nacional que emite la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). Factor de conversión en millas recorridas por galón (EPA, 2016)
1A3c Ferrocarriles	Consumo de combustibles fósiles del balance energético nacional BECO que emite la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)
1A3d Navegación marítima y fluvial	Consumo de combustibles fósiles del balance energético nacional BECO que emite la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)
1A4 Otros sectores	Consumo de combustibles fósiles del balance energético nacional BECO que emite la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)
IB Fugitivas y Otros (Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustible)	
1B1 Combustibles sólidos	El dato de actividad correspondiente a la producción anual de carbón en minas superficiales y subterráneas a nivel nacional, expresado en toneladas, se obtuvo del Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO)

Grupo IPCC (Sector)	Fuente de la información base empleado como factor de actividad
IB2 Petróleo y gas natural	El dato de actividad, que es, los Mega gramos (Mg) de Gas Natural anual quemado en antorchas, a nivel nacional, fue suministrado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)
2. Procesos industriales y uso de productos	
2A - Industria de los minerales	Los datos de actividad se obtuvieron de la Encuesta Anual manufacturera (EAM) que emite la Dirección de Metodología y Producción Estadística (DIMPE) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)
3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	
3B - Gestión de estiércol (emisiones de la ganadería (vivienda) & del estiércol almacenado)	Los datos de actividad (en unidades de animales de una categoría particular, presentes en promedio durante el año) se obtuvieron de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) que emite la Dirección de Metodología y Producción Estadística (DIMPE) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)
3F- Emisiones por quema de biomasa (residuos agrícolas)	área quemada durante el año por cultivos y el manejo de rastrojos. Los datos de actividad fueron suministrados por la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Esta información es consolidada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) a partir de los registros y reportes elaborados por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), sus entidades adscritas, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), las Corporaciones de Desarrollo Sostenible (CDS), las Autoridades Ambientales de Grandes Centros Urbanos y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales en el Formato Único de Captura (FUC), información adicional se obtuvo de la Asociación de

Grupo IPCC (Sector)	Fuente de la información base empleado como factor de actividad
	Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña)
4. Residuos	Los datos de actividad provienen de Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), que emite información sobre la disposición total de residuos sólidos en toneladas al año, la segunda fuente de información para este módulo, es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que publica el documento “Generación y manejo de residuos o desechos peligrosos Colombia”, este documento registra las cantidades anuales en toneladas que son incineradas de residuos peligrosos y residuos hospitalarios, finalmente, la tercera fuente es, la Encuesta de Calidad de Vida (ECV), que emite la Dirección de Metodología y Producción Estadística (DIMPE) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), esta encuesta determina el número de personas que realizan quemas abiertas de sus residuos, por región
11. Fuentes naturales	Los datos de actividad, expresados en términos de hectáreas quemadas (ha), fueron suministrados por la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Esta información es consolidada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) a partir de los registros y reportes elaborados por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), sus entidades adscritas, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), las Corporaciones de Desarrollo Sostenible (CDS), las Autoridades Ambientales de Grandes Centros Urbanos y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales en el Formato Único de Captura (FUC).

3.1. Factores de emisión

Un factor de emisión es un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada y generalmente se expresan

como el peso del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad. Estos valores facilitan la estimación de las emisiones de diversas fuentes de contaminación atmosférica. Los factores de emisión utilizados a nivel internacional se encuentran disponibles en las guías del IPCC 2006 y del EMEP/EEA 2019 y son obtenidos a partir de estudios robustos que presentan cierto grado de representatividad a nivel global y, por ende, pueden ser usados en diferentes países.

Aunque la aplicación de las guías internacionales sea de amplio reconocimiento, los esfuerzos de estimación de factores de emisiones locales son de gran importancia, debido a que permiten evaluar la influencia de las condiciones locales en el desarrollo de las actividades de diferentes sectores, evidenciando la posible sobreestimación o subestimación de las emisiones totales al usar los valores internacionales. Particularmente, en Colombia, la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM), apoyada por la CCAC, ha hecho esfuerzos para estimar factores de emisiones locales para diferentes tipos de tecnologías de hornos en el Sector Ladrillero Colombiano, evidenciando la diferencia en las emisiones totales y de las posibles reducciones al implementar medidas de mitigación para carbono negro. Al comparar los factores de emisión (Figura 3), se pasa de tener emisiones de hasta 2000 toneladas de carbono negro con los valores internacionales y una reducción del 57% a 2030 (CAEM & CCAC, 2020), a tener 800 toneladas de carbono negro con los factores locales y una reducción del 10%, aproximadamente.

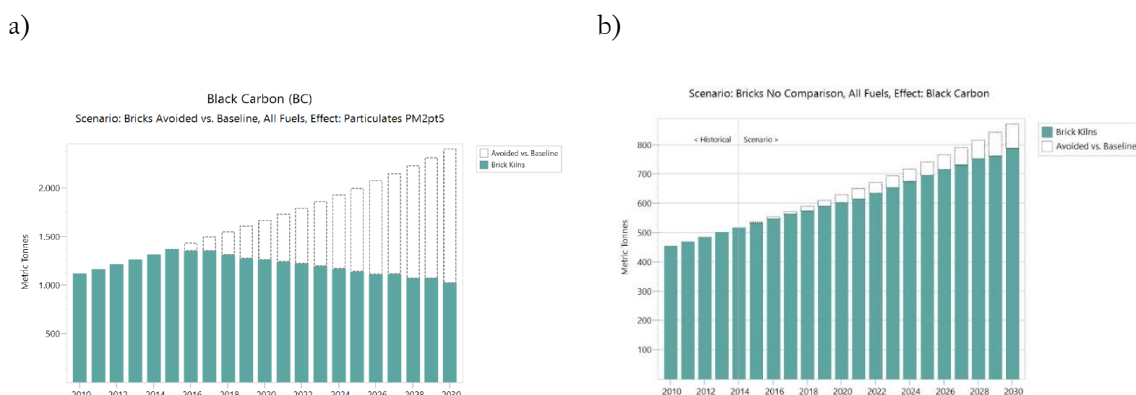


Figura 3. Comparación de las emisiones totales y las posibles reducciones de carbono negro con factores de emisión internacionales (CAEM & CCAC, 2020) (a) y locales (b)

Por esta razón, es de gran importancia realizar esfuerzos para la definición de factores de emisión locales, debido a la mayor representatividad que estos propondrían en todas las etapas de las actividades desarrolladas en el país para cada sector, permitiendo mejorar el proceso de estimación de carbono negro y otros contaminantes.

En el ejercicio de modelación realizado para la definición de la meta de carbono negro en la NDC, se utilizaron los factores de emisión por defecto del EMEP/EEA 2019, sin embargo,

para el sector ladrillero se utilizaron los factores presentados en la Tabla 3. Además, para el sector residencial, específicamente para las actividades relacionadas a cocina en fogón de leña, las proyecciones de carbono negro se realizaron con los factores de emisión definidos en la Tabla 4.

Tabla 3. Factores de emisión de hornos estimados para la industria ladrillera de Colombia (Corporación Ambiental Empresarial CAEM, 2020)

Horno	PM _{2.5}	CN	CO	SO ₂
Hornos que funcionan con carbón mineral o carbón bituminoso (g CN / kg Combustible)				
Túnel	9.6173	0.1747	42.8819	18.6196
Hoffman	0.6578	0.1765	26.1437	8.8091
Zigzag	0.7399	0.2734	26.7257	11.4329
Cámaras	20.0131	0.9854	81.7116	38.6576
Colmena	8.1121	0.8641	29.9061	8.4215
Fuego dormido	13.4982	0.0498	293.8029	32.9227
Hornos que funcionan mezclas de carbón/GN o carbón/biomasa (g CN / kg Combustible)				
Túnel	5.9716	0.0173	41.2673	1.0588
Hoffman	1.7994	0.5706	126.7796	1.7134
Hornos que funcionan solo con biomasa (g CN / kg Combustible)				
Hoffman	3.2492	0.2323	71.3791	2.7001
Vagón	0.0874	0.0050	2.8513	0.1167
Pampa	1.3342	0.1908	37.4602	1.2470
Hornos que funcionan con gas natural (g CN / kg Combustible)				
Túnel	0.2335	0.0000	6.8404	0.5484

Tabla 4. Factores de emisión para fogones tradicionales y estufas eficientes de leña I.A.4 - EMEP/EEA 2019

Tipo de fogón	Factores de emisión (kg contaminante/ Ton combustible)							
	CN	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	VOC	Carbono orgánico	NH ₄	CO
Fogones tradicionales	0.62	3.9	3.12	2.18	26.8	1.78	0.87	77
Estufas eficientes	0.37	2.3	1.84	2.18	26.8	1.05	0.87	77

3.2. Herramienta de construcción de escenarios: LEAP

Con el fin de establecer compromisos de mitigación en GEI y CCVC, se estiman las emisiones a futuro, por medio de la proyección de las actividades que se desarrollan para cada sector

que se desee evaluar, y de esta manera evaluar el potencial de mitigación de la implementación de diferentes políticas. Para demostrar la intención de descarbonizar economías e invertir en resiliencia climática, varios países han utilizado como base para crear escenarios de energía y emisiones a futuro, la herramienta LEAP® (plataforma de análisis de bajas emisiones - *Low Emissions Analysis Platform*). Este software desarrollado por el *Stockholm Environment Institute* (SEI), es ampliamente utilizado para el análisis de políticas energéticas y la evaluación de la mitigación del cambio climático (SEI, 2005).

LEAP es una herramienta de modelado basada en escenarios, la cual puede representar el consumo energético, la producción y/o extracción de recursos en diversos sectores económicos. Dichos escenarios permiten evaluar la evolución en el tiempo de un sistema energético, analizando el impacto de políticas y comparando las necesidades energéticas, costos y emisiones de GEI, CCVC y otros contaminantes del aire. Esto permite proveer información relevante referente al impacto de una política individual, así como la interacción de un conjunto determinado de medidas.

Además, LEAP es una plataforma que permite la creación de modelos a la medida de las necesidades y disponibilidad de información, cubriendo diversas metodologías de modelamiento (*bottom-up*, *top-down*, cambio de flota/existencias), ofreciendo una gran flexibilidad al momento de recrear el modelo de un sistema. Por ejemplo, hay sectores que por sus aportes en emisiones deben aplicar metodologías más detalladas y/o pueden tener información de actividad más precisa, permitiendo un análisis desagregado; sin embargo, pueden existir otros sectores más agregados, donde el consumo energético es menos importante, o se cuenta con información limitada.

4. Emisiones de carbono negro en Colombia 2010-2014

Un primer paso en el desarrollo de acciones para reducir las emisiones de CCVC se centra en desarrollar un inventario para estos contaminantes. Estos permiten evidenciar la contribución de diferentes sectores y las principales fuentes, indicando el punto de partida para identificar acciones prioritarias para reducir los CCVC, mejorar la calidad del aire y mitigar el cambio climático; además, con actualizaciones periódicas, permiten realizar seguimiento del nivel de emisiones a lo largo del tiempo.

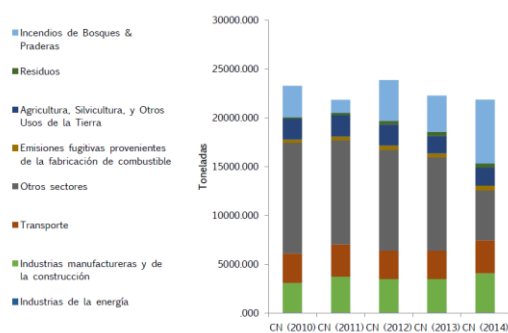
En Colombia, en el marco de la implementación de la Estrategia de Mitigación de Contaminantes de Vida Corta, se desarrolló el Primer Inventario Nacional Indicativo de Emisiones de Contaminantes Criterio y Carbono Negro 2010-2014, permitiendo la priorización de las fuentes emisoras, con el fin de desarrollar políticas, estrategias, lineamientos o directrices para la reducción de estas emisiones. En este inventario se presentan las emisiones totales estimadas para 5 contaminantes, que incluyen (IDEAM, 2020):

- Carbono negro (CN)
- Material particulado menor a 2.5 μm (PM_{2.5})
- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Dióxido de azufre (SO₂)

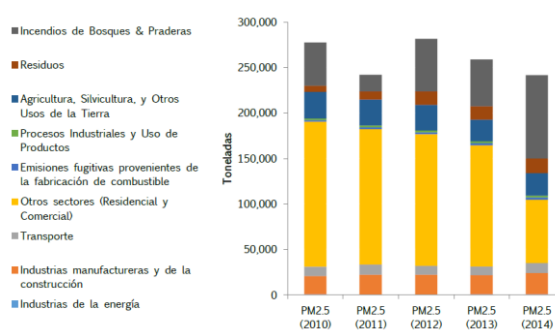
En el desarrollo de este inventario, teniendo en cuenta los niveles de complejidad y de disponibilidad de información, se utilizó un enfoque *top-down*. Además, algunos sectores fueron estimados con un nivel de complejidad *Tier 2*, mientras que otros con complejidad *Tier 1* (IDEAM, 2020).

A partir de este ejercicio, se estima que en Colombia para el año 2014 se emitieron 21581 toneladas de carbono negro, mientras que de los contaminantes criterio se emitieron en total 241605 toneladas de PM_{2.5}, 2'565694 toneladas de CO, 354006 toneladas de NO₂ y 176095 toneladas de SO₂ (IDEAM, 2020). Para todos los contaminantes evaluados, la magnitud de las emisiones totales no variaron en gran medida entre 2010 y 2014 (Figura 4).

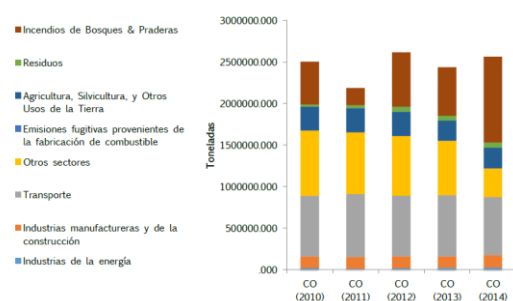
Carbono negro



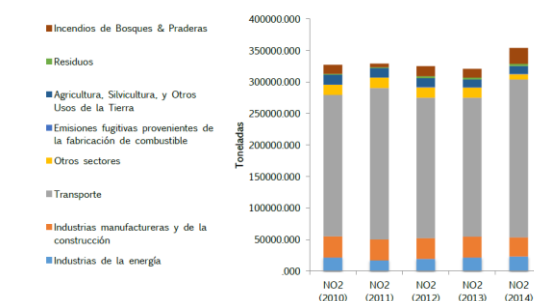
PM_{2.5}



Monóxido de carbono



Dióxido de nitrógeno



Dióxido de azufre

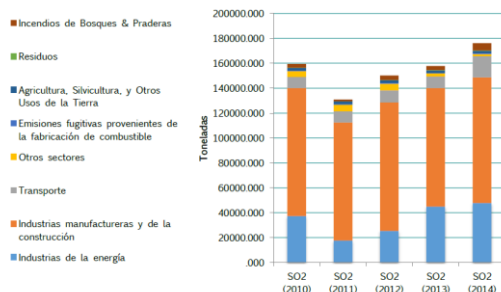


Figura 4. Emisiones totales de carbono negro y contaminantes criterio entre 2010 y 2014 (IDEAM, 2020)

En términos de CCVC, la quema de combustibles generó en el 2014, el 57.49% de las emisiones de CN. Las principales fuentes de emisiones de este contaminante fueron los incendios de bosques y praderas, la combustión residencial (otros sectores – sector residencial y comercial), el transporte y las industrias manufactureras (Figura 5). Los incendios de bosques y praderas generaron el 30% de las emisiones totales nacionales de CN, mientras que la quema de combustibles para uso residencial, en especial por el uso de leña, aportaron un 17% del total de las emisiones de este contaminante (IDEAM, 2020).

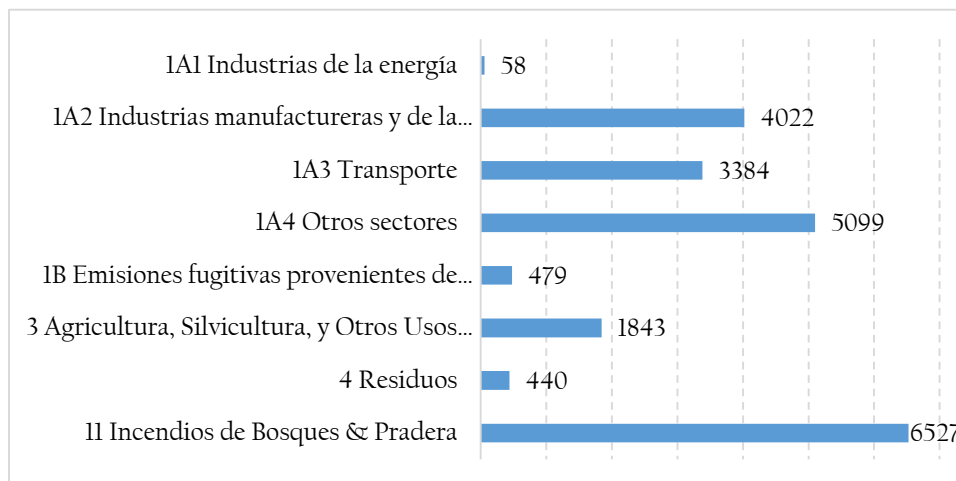


Figura 5. Emisiones totales de Carbono Negro en toneladas para el año 2014 (IDEAM, 2020)

Las principales fuentes de carbono negro fueron a su vez, las principales fuentes de contaminantes criterio (Figura 4). Por ejemplo, los incendios de bosques y praderas y el sector residencial y comercial (otros sectores) fueron fuentes importantes de emisiones de PM_{2.5} y CO. Dentro del sector residencial, el uso de leña en áreas rurales aportó la mayoría de las emisiones de CN de este sector, contribuyendo al calentamiento climático, a la contaminación del aire ambiente e intradomiciliario, afectando la salud de las personas que

utilizan leña para cocina. Por otro lado, el transporte carretero fue el principal emisor de todo el sector transporte, presentando la mayor participación en la generación de emisiones de NO₂ y CO (IDEAM, 2020). Por consiguiente, existe una gran oportunidad de identificar acciones y desarrollar estrategias para reducir las emisiones de CCVC que, simultáneamente, mejorarán la calidad del aire y mitigarán el cambio climático.

5. Compromiso de mitigación de carbono negro en Colombia

Los inventarios de emisiones son de gran utilidad para identificar los principales emisores de un contaminante en específico. En Colombia, a partir del Primer Inventario Nacional Indicativo de Emisiones de Contaminantes Criterio y Carbono Negro 2010-2014, se definieron cuatro sectores claves para enfocar los esfuerzos de mitigación, por su potencial de reducción de emisiones de carbono negro:

1. Agropecuario (producción de panela y quemas agrícolas)
2. Industria (sector ladrillero)
3. Residencial (cocina y calefacción con leña)
4. Transporte (terrestre y maquinaria y transporte fuera de carretera)

Para evaluar el potencial para reducir las emisiones de CCVC a partir de la implementación de acciones de mitigación relevantes y apropiadas a nivel nacional en Colombia, se debe definir, teniendo en cuenta la información disponible, mencionada previamente, el escenario de línea base para cada sector, con el fin de proyectar los cambios de las emisiones en el futuro (2030) sin la implementación de políticas y medidas adicionales. Luego, se definen las medidas de mitigación por cada sector y se proyecta el impacto de su aplicación en las emisiones totales de carbono negro a 2030.

En el marco de la actualización de la NDC de 2020, se definieron diferentes medidas de mitigación con respaldo político y técnico, para evaluar su potencial de reducción de emisiones de carbono negro. Aunque algunas medidas ya se encontraban comprometidas en el marco de reducción de emisiones GEI para la NDC, se decidió evaluar individualmente cada medida, con el fin de llegar a un nivel más detallado en la definición de la actividad y, por ende, en las estimaciones de carbono negro. La Tabla 5 resume las medidas de mitigación evaluadas, indicando cuáles se encuentran incluidas en los esfuerzos de reducción de GEI y presentan co-beneficios de reducción de CN, y cuáles son medidas adicionales. Es importante mencionar que a pesar del gran aporte en términos de emisiones de carbono negro y otros contaminantes criterios de los incendios de bosques y praderas (Figura 5!Error! No se encuentra el origen de la referencia.), por su gran complejidad en términos de información requerida para estimar las emisiones generadas por esta actividad, se optó por excluir esta actividad de posteriores análisis.

Tabla 5. Descripción de las medidas evaluadas por su potencial en reducción de emisiones de carbono negro

Sector económico	Nombre de la medida	Descripción	Condición de la medida
Agropecuario	Reducción de quemas agrícolas	Se proyecta una disminución a 2030 de las quemas de cultivos de arroz, caña de azúcar, maíz, trigo, entre otros, que se ha sugerido como una de las principales fuentes de carbono negro emitido en el sector, implicando una reducción en éste y otros contaminantes atmosféricos.	Adicional
Agropecuario	NAMA Panela	La NAMA busca apoyar intervenciones para reducir las emisiones a través de una serie de transferencias de tecnología, por medio de la sustitución de motores diésel por eléctricos y el uso más eficiente de la energía en la combustión de bagazo en las hornillas, reduciendo el consumo de combustibles adicionales.	Incluida en los esfuerzos de reducción de emisiones de GEI
Industria	Desarrollo Integral de Empresas Ladrilleras	Se busca fomentar al desarrollo integral de unidades productivas de producción de ladrillos y otros materiales de construcción para el escenario 2030, por medio del fomento y la gestión de procesos de reconversión y mejoras en los hornos en ladrilleras (transición de tecnologías de hornos intermitentes a hornos más eficientes).	Incluida en los esfuerzos de reducción de emisiones de GEI
Residencial	Programa de estufas eficientes de leña	Se busca prevenir la degradación de los bosques por la disminución del uso de leña en los hogares rurales mediante la implementación de estufas eficientes que utilizan una menor cantidad de este combustible para la misma demanda de energía. La meta incorpora el despliegue de 1.000.000 de estufas eficientes para el periodo 2021- 2030.	Incluida en los esfuerzos de reducción de emisiones de GEI

Sector económico	Nombre de la medida	Descripción	Condición de la medida
Transporte	Implementación estándares de emisiones Euro IV y Euro VI para nuevos vehículos diésel	De acuerdo a la Resolución 1111 de 2013 de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y a la Ley 1972 de 2019, se establece que las fuentes móviles terrestres con motor ciclo diésel que se fabriquen, ensamblen o importen al país, con rango de operación nacional, tendrán que cumplir con los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes al aire correspondientes a tecnologías Euro IV, a partir del 2015, y Euro VI, desde el 2023, respectivamente.	Adicional
Transporte	Maquinaria nueva con estándares de emisiones Tier 4I para rubros de construcción e industrial	Se prevé la expedición de una nueva norma indicando que, a partir del 2023, la maquinaria, sin importar su año de fabricación, debe cumplir como mínimo con los estándares Tier 4 Interim o Stage IIIB, exceptuando la maquinaria: agrícola, con potencia inferior a 19 kW y superior a 560 kW.	Adicional

A partir de los esfuerzos de mitigación de GEI y agregando las reducciones estimadas para las medidas adicionales mencionadas en la Tabla 5, se estableció la meta de reducción de carbono negro mencionada previamente en este documento, y comprometida en la actualización de la NDC para el año 2020.

A pesar del gran aporte en términos de emisiones de carbono negro y otros contaminantes criterios de los incendios de bosques y praderas, por su gran complejidad en términos de información requerida para estimar las emisiones generadas por esta actividad, se optó por excluir esta actividad de posteriores análisis.

5.1. Prioridades de mitigación de carbono negro en Colombia

Para evaluar el potencial de reducción de emisiones de carbono negro, se estimaron las emisiones de este contaminante en los escenarios de referencia y mitigación comprometidos para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, en conjunto con las medidas netamente adicionales explicadas previamente (Tabla 5), las cuales cuentan con respaldo político y técnico, y proponen un posible mejoramiento de la calidad del aire.

Basándose en los resultados obtenidos en los diferentes ejercicios de modelación, se propuso como punto de partida una reducción de 4588 toneladas de carbono negro a 2030 (Tabla 6), cuyo aporte está dividido en cantidades similares entre las medidas de reducción de GEI y las tres medidas adicionales evaluadas, dejando en evidencia los posibles co-beneficios de los esfuerzos de mitigación de GEI, en materia de CCVC.

Tabla 6. Potencial de reducción de carbono negro incluyendo las medidas de mitigación de GEI y las adicionales

Ejercicios de modelación	Reducción (tCN) 2014-2030
Escenario de mitigación de GEI	2387.6
Medidas adicionales (Euro IV y VI, Reducción de 20% de quemas agrícolas, Maquinaria Tier 4I)	2200.9
Escenario de mitigación de GEI + Medidas adicionales (Euro IV y VI, Reducción de 20% de quemas agrícolas, Maquinaria Tier 4I)	4588.4

El carbono negro es emitido en los procesos de combustión incompleta de combustibles fósiles y biomasa y se clasifica como un CCVC por sus aportes al calentamiento de la atmósfera y a su tiempo de residencia relativamente corto (días a semanas). Los esfuerzos en reducción de emisiones de este contaminante representan una estrategia potencial de mitigación que podría reducir el forzamiento climático global de actividades antropogénicas a corto plazo. Para tal motivo, es fundamental evaluar conjuntamente el inventario de carbono negro y las emisiones estimadas para este contaminante a partir de los esfuerzos de mitigación de GEI, con el fin de identificar otros sectores de interés en materia de emisiones de carbono negro. En la Tabla 7, se encuentran las emisiones totales de carbono negro para el escenario de referencia y el de mitigación de GEI en 2014 y 2030, para cada sector.

Tabla 7. Co-beneficios en reducción de emisiones de carbono negro de los esfuerzos de mitigación de GEI en el marco de la actualización de la NDC

Sector	Escenario de referencia GEI		Escenario de mitigación GEI
	tCN - 2014	tCN - 2030	tCN - 2030
AFOLU {3}	1542.16	986.32	789.02
Agricultura pesca {1A4c}	742.97	1092.80	957.41
Coquerías y Refinerías {1A1b y 1A1c}	4.83	5.56	4.70
Electricidad SIN generación {1A1a}	7.95	14.69	30.47
Electricidad ZNI generación {1A1a}	0.77	0.91	0.91
Maquinaria fuera de carretera	1793.50	2449.93	2363.87

Sector	Escenario de referencia GEI		Escenario de mitigación GEI
	tCN - 2014	tCN - 2030	tCN - 2030
Residencial {1A4b}	4479.32	5278.27	2188.41
Terciario {1A4a}	0.53	0.90	0.89
Transporte{1A3}	1960.65	3571.56	1910.45
Alimentos bebidas y tabaco {1A2e}	2557.17	2722.49	2699.95
Construcción {1A2k}	94.26	51.17	48.96
Equipos de transporte {1A2g}	0.88	0.94	0.71
Hierro y acero {1A2a}	54.33	9.20	6.98
Industria No especificada {1A2m}	1.93	29.67	24.23
Madera y productos de la madera {1A2j}	2.97	2.99	2.48
Maquinaria {1A2h}	2.70	6.66	5.28
Minerales No metálicos {1A2f}	535.55	412.41	505.43
Minería y cantería {1A2i}	73.34	330.76	316.49
Productos químicos {1A2c}	46.93	41.76	34.97
Pulpa papel e imprenta {1A2d}	76.74	143.61	120.36
Textiles y cueros {1A2l}	68.12	147.10	124.42

5.2. Meta de mitigación de carbono negro en la NDC

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (Minambiente) avanza hacia la implementación de la Estrategia Nacional de Contaminantes Climáticos de Vida Corta, la cual proporciona metas y acciones para reducir las emisiones de estos contaminantes en el país, y pueden ser integradas en la planificación y formulación de políticas públicas. Esta estrategia busca aumentar la integración de esfuerzos de mitigación de los CCVC en los procesos de planificación nacional, como en la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (ENCA) y el CONPES 3943: Política Para la Mejora de la Calidad del Aire.

Como resultado de los esfuerzos mencionados, y con apoyo del Stockholm Environment Institute (SEI), en el marco de la actualización de la NDC de Colombia, presentada a finales del 2020, se contempló por primera vez la inclusión de los CCVC, específicamente del carbono negro. Teniendo en cuenta los esfuerzos comprometidos en reducción de GEI y poniendo especial énfasis en acciones adicionales dirigidas a mitigar las emisiones de carbono negro y otros contaminantes criterio, enumeradas a continuación:

1. Implementación estándares de emisiones Euro IV y Euro VI para nuevos vehículos diésel
2. Maquinaria nueva con estándar de emisiones Tier 4I para rubros de construcción e industrial
3. Reducción de quemas agrícolas a 2030

A partir de estos esfuerzos en materia de cambio climático, se estableció una meta de reducción de carbono negro del 40% a 2030 (Figura 6), con el fin de aumentar la ambición

en las medidas orientadas a mitigar el cambio climático y mejorar la calidad del aire, maximizando los beneficios locales de la implementación de la NDC. La meta comprometida estipula una reducción aproximada de 6130 toneladas de carbono negro, generando la necesidad acciones adicionales a las ya comprometidas en la NDC para maximizar las reducciones tanto en la contaminación del aire como en los GEI, debido a que en el ejercicio de estimación, se obtuvo una reducción 4588 toneladas (Tabla 6), como es el caso de acciones para reducir los incendios de bosques y praderas, que se han evidenciado, son la principal fuente de carbono negro en el país.

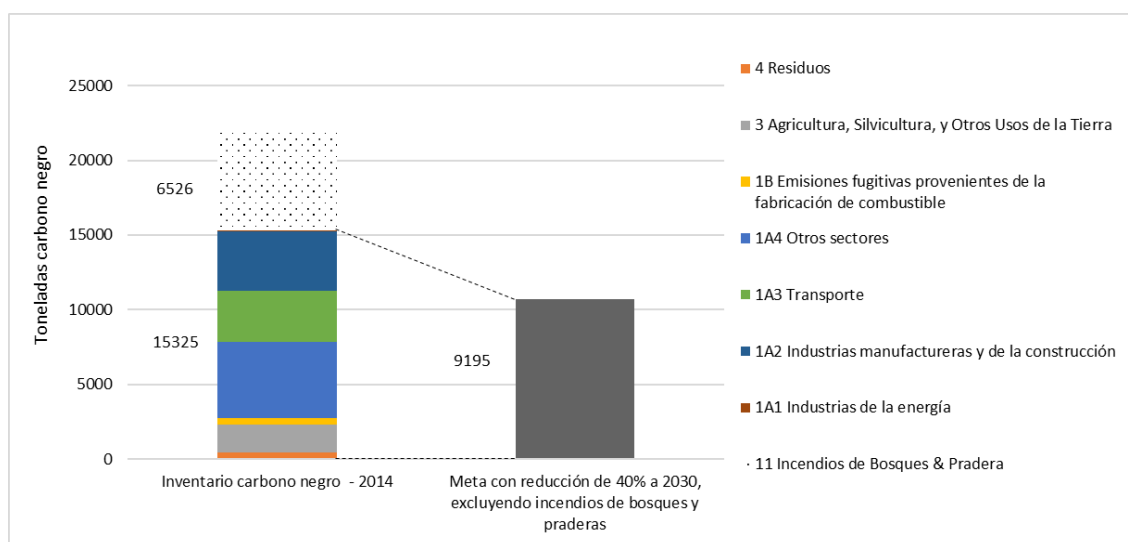


Figura 6. Meta de reducción de emisiones de carbono negro a 2030, comprometida en la actualización de la NDC

La definición de la meta de reducción de emisiones de carbono negro fue posible gracias a los esfuerzos en levantamiento de información base respecto a este contaminante, específicamente por medio del Primer Inventario Nacional Indicativo de Emisiones de Carbono Negro y Contaminantes Criterio, 2010 - 2014 (IDEAM, 2020), el cual representó el punto de partida para evaluar las principales fuentes de emisión y la reducción en las emisiones del contaminante. Los inventarios de emisiones constituyen una herramienta fundamental para establecer el punto de partida del diseño de estrategias de mitigación, a partir de la estimación de las emisiones de un contaminante y de sus principales fuentes de emisión, orientando así, la toma de decisiones hacia una acción climática efectiva. Los inventarios nacionales se encuentran integrados en el enfoque de emisiones del sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de Colombia.

6. Acciones para disminuir emisiones de carbono negro

Estudios mundiales y regionales han demostrado que hay una variedad de acciones que se pueden tomar para atacar las principales fuentes de CCVC y, simultáneamente, mejorar la calidad del aire a nivel local y reducir la contribución al cambio climático global. Los esfuerzos enfocados en la transición a energías renovables, sistemas de transporte de cero o bajas emisiones, así como la electrificación de los sectores residenciales y comerciales y la implementación de medidas de control, serían acciones efectivas de mitigación de contaminantes atmosféricos y CCVC para lograr un límite de cambio de temperatura global de 2 ° C por encima de niveles preindustriales (Hanaoka & Masui, 2020; Krecl et al., 2019).

El tiempo de residencia relativamente corto en la atmósfera de los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), combinados con su fuerte potencial de calentamiento, implica que las estrategias para reducir las emisiones pueden generar beneficios para el clima en cuestión de décadas. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial (WMO) han identificado un paquete de medidas de control para reducir los CCVC que pueden lograr el 90% del total de reducciones potenciales de emisiones de carbono negro, metano y HFC (Tabla 8). Estas medidas pueden reducir la cantidad de calentamiento que ocurriría en las próximas décadas hasta en 0,6 ° C, al tiempo que se evitan 2,4 millones de muertes prematuras anuales por contaminación del aire ambiente para 2030 y se previenen 52 millones de toneladas de pérdidas de cultivos al año (UNEP & WMO, 2011).

Tabla 8. Medidas de control para reducir emisiones de CCVC (CCAC, 2018)

CCVC	Sector	Medidas de control identificadas
Carbono negro	Energía	Reemplazar los hornos tradicionales por estufas de combustible modernas de combustión limpia
		Reemplazar los hornos y las estufas de calefacción tradicionales con estufas de biomasa de combustión limpia
		Eliminar las lámparas de queroseno
		Reemplazar el carbón por briquetas de carbón para cocinar y calentar
		Reemplazar estufas y quemadores de leña por estufas y calderas de pellets
	Industria	Modernizar los hornos de ladrillos tradicionales a hornos de ladrillos de eje vertical
		Modernizar los hornos de coque a hornos de recuperación

CCVC	Sector	Medidas de control identificadas
	Transporte	Utilizar filtros especiales para diésel para vehículos de carretera y todoterreno.
		Transición rápida a vehículos Euro VI / 6 y autobuses y camiones sin hollín
		Eliminar los vehículos diésel de altas emisiones
	Agricultura	Prohibir la quema de desechos agrícolas en campo abierto
	Combustibles fósiles	Capturar y mejorar la quema de petróleo y la producción de gas
	Residuos	Prohibir la quema al aire libre de residuos municipales
Metano	Agricultura	Mejorar la gestión del estiércol y la calidad de la alimentación animal
		Aplicar aireación intermitente de arrozales continuamente inundados.
		Mejorar la salud y la cría de animales mediante la combinación de estrategias de gestión del ganado y la salud, nutrición y gestión de la alimentación
		Introducir la cría selectiva para reducir la intensidad de las emisiones y aumentar la producción.
		Promover la digestión anaeróbica en granjas para controlar las emisiones de metano del ganado.
		Adoptar una guía sobre opciones dietéticas saludables.
	Combustibles fósiles	Llevar a cabo la desgasificación previa a la extracción y la recuperación y oxidación del metano del aire de ventilación de las minas de carbón.
		Reducir las fugas de las tuberías de distribución y transmisión de gas a larga distancia
		Ampliar la recuperación y utilización de la producción de gas y petróleo.

CCVC	Sector	Medidas de control identificadas
		Recuperar y utilizar gases y emisiones fugitivas durante la producción de petróleo y gas natural
	Residuos	Separar y tratar los residuos municipales biodegradables y convertirlos en abono o bioenergía
		Mejorar el tratamiento de aguas residuales con recuperación de gas y control de desbordamiento
		Mejorar la digestión anaeróbica de desechos sólidos y líquidos por parte de la industria alimentaria
		Actualizar el tratamiento primario de aguas residuales
		Gestión de desechos orgánicos
		Recolectar, capturar y utilizar gases de vertedero
HFC	Refrigeración	Ratificar y cumplir las medidas de control de la Enmienda de Kigali.
		Reemplazar los hidrofluorocarbonos de alto potencial de calentamiento global con alternativas de bajo o nulo potencial de calentamiento global, combinadas con mejoras en la eficiencia energética del ciclo de vida.
		Mejorar los materiales de aislamiento y los diseños de los edificios para evitar el uso o reducir la necesidad de aire acondicionado.

El potencial para reducir significativamente los CCVC, guía la estrategia 2030 de la Coalición de Clima y Aire Limpio. Los esfuerzos globales concertados para implementar prácticas conocidas y tecnologías existentes pueden lograr reducciones globales de:

- Hasta el **70% del carbono negro** para 2030 en relación con 2010.
- Al menos el **40% del metano** para 2030 en comparación con 2010.
- El **99,5% de los HFC** para 2050 en comparación con 2010.

Es de gran importancia que, para identificar estrategias de mitigación, el tema esté bien diagnosticado, haciendo fundamental mejorar la comprensión de las emisiones de contaminantes atmosféricos. En Colombia, 26 sistemas de monitoreo de la calidad del aire

funcionaron en 2017, pero la mayoría de las estaciones de monitoreo midieron contaminantes criterio, por lo que es clara la necesidad de medir los CCVC para desarrollar políticas objetivo, basadas en el alcance y antecedentes del tema. Además, comprender la variación espacio-temporal de los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) sobre las ciudades es fundamental para proteger la salud pública y mitigar el cambio climático.

Diferentes estrategias de mitigación ofrecen la posibilidad de mejorar la calidad del aire y de mitigar el cambio climático, por lo que se requieren acciones coordinadas que tengan en cuenta los vínculos entre ambos, basándose en estudios científicos e incluyendo actores políticos y sectoriales. Existe la necesidad de una mayor regulación y esfuerzos de seguimiento, a fin de garantizar la aplicación de las políticas de control y mitigación relacionadas con los cambios en el transporte, la industria, la ganadería, la quema de biomasa, incluyendo la reducción de los incendios forestales. Los esfuerzos enfocados en transiciones a energías renovables, sistemas de transporte de cero o bajas emisiones, así como la electrificación de los sectores residencial y comercial y la implementación de medidas de control, se proponen como acciones efectivas de mitigación de contaminantes atmosféricos y CCVC.

7. Recomendaciones

- Los procesos realizados en el marco de la Estrategia de Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta, han permitido demostrar que en Colombia los contaminantes que contribuyen a la contaminación del aire y al cambio climático, son en muchos casos, emitidos por las mismas fuentes, en particular, durante procesos de combustión de leña para uso residencial, transporte y quemas de residuos agrícolas son fuentes importantes de CCVC, GEI y contaminantes del aire. Esto permite evidenciar la oportunidad de integrar la planificación sobre la contaminación del aire y el cambio climático, como se plantea en la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta.
- Para los procesos de planeación en iniciativas de cambio climático, la inclusión de CCVC permite incorporar medidas asociadas a la reducción de contaminantes permitiendo que este co-beneficio clave de las estrategias de cambio climático sea cuantificado y presentado como un beneficio local asociado al cumplimiento de las metas de reducción de GEI comprometidos por Colombia. Por lo tanto, los grupos de trabajo intersectoriales o interministeriales también pueden ser un foco para discutir e involucrar a las partes relevantes en la reducción de la contaminación del aire, junto con la mitigación del cambio climático.
- Contribuyendo al monitoreo y control de las emisiones contaminantes se pueden establecer alianzas del sector ambiental con otras entidades gubernamentales y evaluar esquemas de trabajo articulados, para realizar intervenciones integrales con el sector

privado. Las diferentes estrategias de mitigación ofrecen la posibilidad tanto de mejorar la calidad del aire como de mitigar el cambio climático, por lo que se requieren acciones coordinadas que tengan en cuenta los vínculos entre la calidad del aire y el clima. Estas acciones deben basarse en sólidos fundamentos científicos, responsables políticos y partes interesadas relevantes.

- Junto con las estrategias mencionadas anteriormente, existe la necesidad de una mayor regulación y esfuerzos de seguimiento por parte del gobierno nacional, a fin de garantizar la aplicación de las políticas de control y mitigación relacionadas con los cambios en el transporte, la industria, la ganadería, la quema de biomasa, incluida una reducción de los incendios forestales inducidos por antropogénicos. Centrándose en las emisiones relacionadas con el tráfico, es obligatorio mejorar los sistemas de transporte público, las redes de peatones y bicicletas y desarrollar estándares de eficiencia más altos para reducir las emisiones de los vehículos y apuntar a los vehículos diésel de servicio pesado.
- Además del compromiso de la NDC sobre reducción de emisiones hasta 2030, para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París, es necesario descarbonizar completamente para 2050. Los países están comenzando a desarrollar estrategias para establecer una visión de los planes de mitigación del cambio climático a largo plazo. Tener en cuenta la contaminación del aire, así como otros beneficios del desarrollo sostenible, dentro del proceso de desarrollo de una estrategia de mitigación del cambio climático a largo plazo, puede garantizar que los beneficios locales se tomen en cuenta al evaluar cómo planea desarrollarse Colombia a largo plazo.

8. Referencias

- Atkinson, R. W., Analitis, A., Samoli, E., Fuller, G. W., Green, D. C., Mudway, I. S., Anderson, H. R., & Kelly, F. J. (2016). Short-term exposure to traffic-related air pollution and daily mortality in London, UK. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 26(2), 125–132. <https://doi.org/10.1038/jes.2015.65>
- CAEM, & CCAC. (2020). *A document that consolidates the process of validation and generation of mitigation scenarios*.
- Camilo Blanco-Becerra, L., Miranda-Soberanis, V., Hernandez-Cadena, L., Barraza-Villarreal, A., Junger, W., Hurtado-Díaz, M., & Romieu, I. (2014). Effect of particulate matter less than 10 μm (PM10) on mortality in Bogota, Colombia: a time-series analysis, 1998–2006. *Salud Publica De Mexico*, 56(4), 363–370.
- CCA. (2015). *Directrices para la estimación de las emisiones de carbono negro de América del Norte: Métodos recomendados*. <http://www3.cec.org/islandora/es/item/11629-north-american-black-carbon-emissions-recommended-methods-estimating-black-es.pdf>

- CCAC. (2018). *Short-lived climate pollutant solutions* | Climate & Clean Air Coalition. <https://www.ccacoalition.org/en/content/short-lived-climate-pollutant-solutions>
- Climate and Clean Air Coalition. (2014). *What are Short-Lived Climate Pollutants?* | GRID-Arendal. <https://www.grida.no/resources/7537>
- Corporación Ambiental Empresarial CAEM. (2020). *Determinación de factores de emisión que servirán como insumo para la herramienta LEAP-IBC*.
- EEA. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories. En *EEA Technical report* (Número 13/2019). <https://doi.org/10.2800/293657>
- Hanaoka, T., & Masui, T. (2017). Exploring the 2 °C Target Scenarios by Considering Climate Benefits and Health Benefits - Role of Biomass and CCS. *Energy Procedia*, 114(November 2016), 2618–2630. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1424>
- Hanaoka, T., & Masui, T. (2020). Exploring effective short-lived climate pollutant mitigation scenarios by considering synergies and trade-offs of combinations of air pollutant measures and low carbon measures towards the level of the 2 °C target in Asia. *Environmental Pollution*, 261, 113650. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113650>
- IDEAM. (2020). *1er inventario indicativo nacional de emisiones de contaminantes criterio y carbono negro 2010-2014*.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Krecl, P., Targino, A. C., Ketzel, M., Cipoli, Y. A., & Charres, I. (2019). Potential to reduce the concentrations of short-lived climate pollutants in traffic environments: A case study in a medium-sized city in Brazil. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 69(February), 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.032>
- Luong, L. M. T., Phung, D., Sly, P. D., Morawska, L., & Thai, P. K. (2017). The association between particulate air pollution and respiratory admissions among young children in Hanoi, Vietnam. *Science of the Total Environment*, 578, 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.012>
- MADS. (2019). *Estrategia Nacional de Calidad del Aire*.

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/estrategia-nacional-de-calidad-del-aire-enca>

MADS. (2020). *Estrategia nacional para la mitigación de contaminantes climáticos de vida corta*.

MADS, M. de A. y D. S. (2017). *Inventarios de emisiones atmosféricas*.
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/emisiones-contaminantes>

Maione, M., Fowler, D., Monks, P. S., Reis, S., Rudich, Y., Williams, M. L., & Fuzzi, S. (2016). Air quality and climate change: Designing new win-win policies for Europe. *Environmental Science and Policy*, 65, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.03.011>

Saunois, M., Bousquet, P., Poulter, B., Peregon, A., Ciais, P., Canadell, J. G., Dlugokencky, E. J., Etiope, G., Bastviken, D., Houweling, S., Janssens-Maenhout, G., Tubiello, F. N., Castaldi, S., Jackson, R. B., Alexe, M., Arora, V. K., Beerling, D. J., Bergamaschi, P., Blake, D. R., ... Zhu, Q. (2016). The global methane budget 2000–2012. *Earth System Science Data*, 8(2), 697–751. <https://doi.org/10.5194/essd-8-697-2016>

SEI. (2005). *LEAP User Guide* (Número May).
<https://leap.sei.org/help/leap.htm#t=Concepts%2FIntroduction.htm>

UNEP, & WMO. (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12414

ANEXO

Anexo I. Actividades evaluadas en el inventario de emisiones de carbono negro 2010-2014 (IDEAM, 2020)

Categoría	Código IPCC y descripción
Energía	1A1a Producción de electricidad y calor como actividad principal
	1A1ai Generación de electricidad en centrales térmicas (& plantas de generación en ZIN)
	1A1aii Generación combinada de calor y energía (CHP)
	1A1aiii Plantas generadoras de energía (CHP)
	1A1b Refinación de petróleo
	1A1c Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas
	1A1ci Manufactura de combustibles sólidos
	1A1cii Otras industrias de la energía
	1A2a Hierro y acero
	1A2b Metales no ferrosos
	1A2c Productos químicos
	1A2d Pulpa, papel e imprenta
	1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco
	1A2f Minerales no metálicos
	1A2g Equipo de transporte
	1A2h Maquinaria
	1A2i Minería (con excepción de combustibles) y cantería
	1A2j Madera y productos de la madera
	1A2k Construcción
	1A2l Textiles y cueros
	1A2m Industria no especificada
	1A4a Comercial / Institucional
	1A4b Residencial
	1A4c Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías - Estacionaria
	1A4ci Estacionaria
	1A4cii Vehículos todo terreno y maquinaria
	1A5a Estacionario
Emisiones fugitivas	1B1ai Minería subterránea -R.
	1B1aii Minas de superficie -R.
	1B2 Petróleo y gas Natural
Procesos industriales y usos de productos	2A1 Producción de cemento
	2A2 Producción de cal
	2A3 - Producción de vidrio

Categoría	Código IPCC y descripción
	2A4 - Otros usos de carbonatos en los procesos
	2A5a Canteras y extracción de minerales distintos al carbón
	2A5b Construcción y demolición
	2B1 Industria química producción de amoníaco
	2C1 Producción de hierro y acero
	2C2 Producción de ferroaleaciones
	2C3 Producción de aluminio (P. Secundaria)
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	11B Incendios de Bosques & Praderas
	3F Emisiones por quema de biomasa (residuos agrícolas)
Residuos	4A Tratamiento biológico de los desechos sólidos - Eliminación de desechos sólidos en Rellenos Sanitarios y Vertederos
	4C Incineración e incineración abierta de desechos
	4C1bi Incineración de desechos industriales Incluyendo residuos peligrosos
	4C1biii Incineración de residuos hospitalarios
	4C2 Incineración abierta de residuos