



**Evaluación de las medidas de mitigación de Contaminantes
Climáticos de Vida Corta en Colombia:
Recomendaciones para la actualización de la NDC**

Sara C. Grisales Vargas

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

Con el apoyo del Stockholm Environmental Institute

Entregable preparado para la Coalición Clima y Aire Limpio

Realizado en el marco del contrato No. 2500238039

Bogotá D.C. Colombia

Diciembre de 2020

Contenido

1. Introducción.....	5
2. Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta...	7
3. Emisiones de carbono negro en Colombia 2010-2014	8
3.1. Fuentes y contaminantes incluidos en el inventario.....	9
3.2. Emisiones de carbono negro entre 2010 y 2014	11
4. Medidas de mitigación de emisiones de carbono negro	14
4.1. Reducción de quemas agrícolas	17
4.2. Estrategia de desarrollo bajo en emisiones para la cadena de producción de la panela en Colombia (NAMA Panela)	19
4.3. Desarrollo Integral de Empresas Ladrilleras	21
4.4. Programa de estufas eficientes de leña.....	25
4.5. Implementación estándares de emisiones Euro IV y Euro VI para nuevos vehículos diésel	29
4.6. Maquinaria nueva con estándares de emisiones Tier 4I	33
4.7. Potencial de reducción de emisiones de carbono negro.....	34
4.8. Co-beneficios en reducción de contaminantes atmosféricos	35
5. Recomendaciones para la inclusión de CCVC en la actualización de la NDC y en procesos de planeación en iniciativas de cambio climático en Colombia	36
6. Siguiendo pasos	36
6.1. Mantener y actualizar los análisis integrados de mitigación del cambio climático y la contaminación del aire.....	37
6.2. Incluir CCVC y contaminantes del aire en las comunicaciones nacionales y los informes bienales	37
6.3. Considerar la contaminación del aire en el desarrollo de una estrategia de mitigación del cambio climático a largo plazo	38

7. Referencias.....	38
---------------------	----

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, 2020a).....	8
Figura 2. Emisiones totales de carbono negro y contaminantes criterio entre 2010 y 2014...13	13
Figura 3. Emisiones totales de Carbono Negro en toneladas para el año 2014 (IDEAM, 2020)	13
Figura 4. Reducción del 20% de fracción de residuo quemado en campo a 2030	18
Figura 5. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de mitigación de quemas agrícolas).....	19
Figura 6. Consumo anual proyectado de diésel durante el proceso de molienda en los trapiches.....	20
Figura 7. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de mitigación NAMA Panela)	21
Figura 8. Consumo energético del sector ladrillero para el año 2015 (Corporación Ambiental Empresarial CAEM, 2015).....	22
Figura 9. Porcentaje de sustitución de hornos respecto a la medida de mitigación.....	24
Figura 10. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de mitigación ladrilleras)	25
Figura 11. Proyección de número de viviendas urbanas y rurales a 2030 (DANE, 2020).....	26
Figura 12. Porcentaje de implementación de estufas eficientes de leña hasta 2030	28
Figura 13. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de mitigación estufas eficientes de leña).....	29
Figura 14. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de implementación Euro IV y Euro VI)	33
Figura 15. Meta de reducción de emisiones de carbono negro a 2030 (IDEAM, 2020)	35

Lista de tablas

Tabla 1. Actividades evaluadas en el inventario de emisiones de carbono negro 2010-2014 (IDEAM, 2020)	10
Tabla 2. Descripción de las medidas evaluadas por su potencial en reducción de emisiones de carbono negro.....	15
Tabla 3. Variables para la estimación de la actividad de la cantidad de residuos quemados para cada cultivo, 2010-2014.....	17
Tabla 4. Intensidad de energía final por combustible 2015-2030.....	20
Tabla 5. Producción de ladrillos por tipo de horno (Corporación Ambiental Empresarial CAEM, 2015).....	22
Tabla 6. Factores de emisión de hornos estimados para la industria ladrillera de Colombia (Corporación Ambiental Empresarial CAEM, 2020)	24
Tabla 7. Intensidad de energía útil en hogares urbanos y rurales (MJ/Hogar) (UPME, 2019a; UPME, 2019b)	27
Tabla 8. Participación de combustible (%) y eficiencia (%) para Calor Directo (UPME, 2019a; UPME, 2019b)	27
Tabla 9. Factores de emisión para fogones tradicionales y estufas eficientes de leña I.A.4 - EMEP/EEA 2019.....	28
Tabla 10. Número de vehículos registrados en Colombia, según la base de datos RUNT	29
Tabla 11. Distribución de la flota por tipo de combustible, según la base de datos RUNT ..	30
Tabla 12. Actividad promedio anual de la flota por tipo de vehículo y combustible	30
Tabla 13. Clasificación según pre-Euro y Euro II por categoría vehicular 2010-2030.....	30
Tabla 14. Clasificación según Euro III (motocicletas), Euro IV y Euro VI por categoría vehicular 2015-2030	31
Tabla 15. Potencial de reducción de carbono negro incluyendo las medidas de mitigación de GEI y las adicionales.....	35
Tabla 16. Co-beneficios en reducción de algunos contaminantes del aire con la implementación de las medidas de mitigación de GEI y CN.....	36

1. Introducción

La contaminación del aire y el cambio climático son dos de los mayores problemas ambientales que se enfrentan a nivel mundial. La presencia de contaminantes atmosféricos deterioran la calidad del aire, afectando la salud de la población, con aumentos en la morbilidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Camilo Blanco-Becerra et al., 2014; Luong, Phung, Sly, Morawska, & Thai, 2017). En el año 2015, aproximadamente 8000 muertes fueron ocasionadas por la mala calidad del aire en Colombia, específicamente relacionada a altos niveles de material particulado, implicando costos en salud que ascendieron hasta 12.3 billones de pesos, representando el 1.5% del Producto Interno Bruto (DNP, 2018)

Los contaminantes atmosféricos pueden ser emitidos por procesos naturales o antropogénicos, como las actividades industriales, el tráfico vehicular, la agricultura, la quema de combustibles y biomasa, o los incendios forestales. Además, estas fuentes pueden emitir gases de efecto invernadero (GEI), asociados principalmente al cambio climático por su capacidad de absorber la radiación infrarroja, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera. Sin embargo, existen otras sustancias que, por su potencial de forzamiento climático, han sido de gran interés; estos son los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), como: el carbono negro (CN), el metano (CH_4), el ozono troposférico (O_3) y los hidrofluorocarbonos (HFC), los cuales tienen una vida más corta en la atmósfera en comparación con el dióxido de carbono (CO_2) (MADS, 2020a). Se ha sugerido la importancia de reducir las emisiones de los CCVC para disminuir los riesgos en salud y los impactos ambientales del cambio climático, debido a que la reducción de la concentración de estos contaminantes en el aire, puede atribuir a una mejora, no sólo sobre la salud humana y el bienestar de los ecosistemas, sino también sobre la seguridad alimentaria y la economía (Hanaoka & Masui, 2020; Krecl, Targino, Ketznel, Cipoli, & Charres, 2019; Maione et al., 2016).

La contaminación del aire y el cambio climático son desafíos ambientales relacionados, que aún son objeto de estudio, con diferentes enfoques metodológicos y políticas de mitigación, sin embargo, se ha sugerido la importancia de generar sinergias entre las estrategias para abordar el cambio climático y la calidad del aire deteriorada, con el fin de reducir la influencia de ambos problemas, que en general se originan de las mismas fuentes antropogénicas (Hanaoka & Masui, 2017, 2020; Krecl et al., 2019; Maione et al., 2016). 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.

Mediante la evaluación global de los beneficios de tomar medidas para reducir el carbono negro y el ozono troposférico, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente UNEP y la Organización Meteorológica Mundial, indicaron 9 medidas de mitigación de

emisiones de carbono negro, enfocadas en los sectores residencial, agrícola, transporte e industrial, generando potenciales beneficios en reducción de GEI y otros contaminantes del aire emitidos en estos sectores (UNEP & WMO, 2011).

Como parte del primer esfuerzo global para hacer frente a los CCVC, Colombia es país socio de la Coalición de Clima y Aire limpio desde 2012, en donde ha participado activamente para lograr desplegar diferentes iniciativas, como: el desarrollo de la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (MADS, 2020a), la definición de factores de emisión locales para carbono negro y otros contaminantes, para las 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 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 GEI que los países deben llevar a cabo; mediante la implementación de contribuciones nacionalmente determinadas (NDC). 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. En el marco de la actualización de la NDC, se contempla por primera vez la inclusión de los CCVC, poniendo especial énfasis en acciones dirigidas a mitigar las emisiones de carbono negro en las principales fuentes, 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.

Para tal fin, en este documento se presentan los resultados de las estimaciones de las emisiones de carbono negro hasta el año 2030, y la evaluación del potencial de mitigación de medidas aplicadas a diferentes sectores, con respaldo técnico y político, mediante la herramienta LEAP®. En concreto, los objetivos de este documento son:

- Evaluar los posibles cambios a futuro en las emisiones de carbono negro para un escenario de referencia en diferentes sectores claves.
- Evaluar y cuantificar el potencial para reducir las emisiones de carbono negro para diferentes estrategias de mitigación diseñadas para reducir las emisiones de sectores claves.

- Proporcionar recomendaciones sobre cómo los contaminantes climáticos de vida corta y los beneficios de la contaminación del aire pueden incluirse en la actualización de las NDC de Colombia y, de manera más general, sobre cómo se podría fortalecer la integración de la contaminación del aire y la mitigación del cambio climático en Colombia.

2. Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta

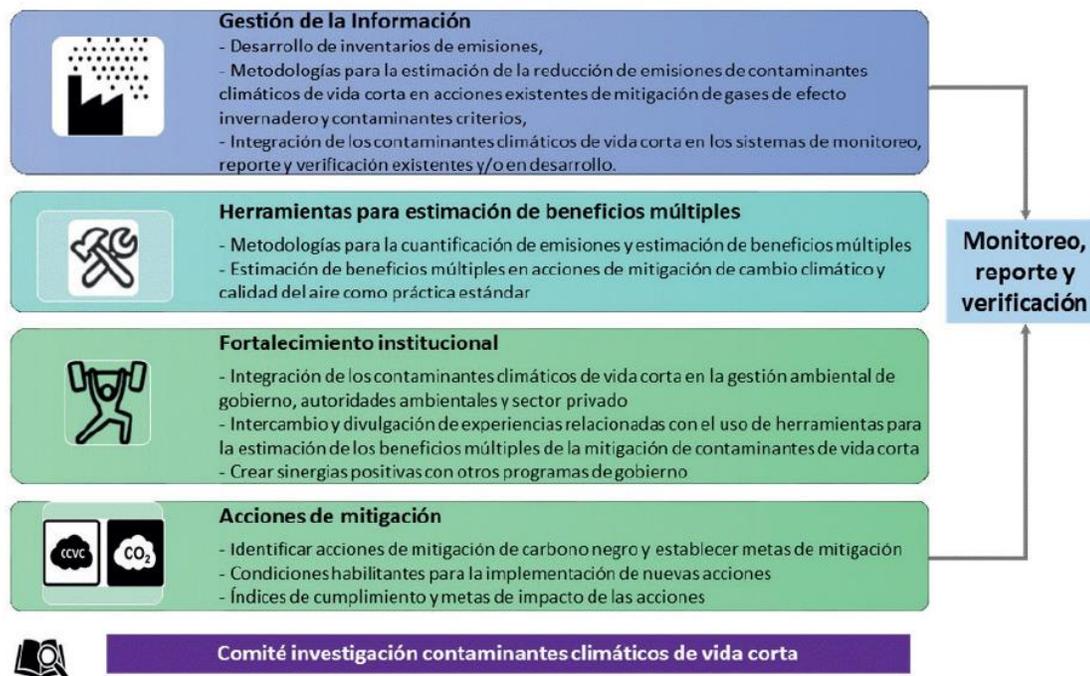
El gobierno de Colombia ha desarrollado la Estrategia Nacional de Calidad del Aire para reducir las concentraciones de contaminantes atmosféricos, mediante la promoción de iniciativas de formalización, competitividad, productividad y eficiencia energética en la industria. En esta estrategia se mencionan 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 creó 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, 2020a).

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, 2020a):

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, 2020a)



Diferentes estrategias de mitigación ofrecen la posibilidad 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 ambos. Estas acciones deben basarse en estudios científicos, 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.

El Anexo técnico 1 proporciona una descripción detallada de la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta.

3. Emisiones de carbono negro en Colombia 2010-2014

Como se mencionó en la Sección 2, un primer paso en el desarrollo de acciones para reducir los CCVC, con el fin de mejorar la contaminación del aire y mitigar el cambio climático, se centra en desarrollar un inventario de emisiones 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, que permite la priorización de las fuentes emisoras, con el fin de desarrollar políticas, estrategias, lineamientos o directrices para la reducción de estas emisiones (IDEAM, 2020). En esta sección, se presentan las primeras estimaciones para el carbono negro, donde el Anexo técnico 2 proporciona una descripción detallada de los datos, métodos y supuestos utilizados para desarrollar el inventario de emisiones.

3.1. Fuentes y contaminantes incluidos en el inventario

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 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 este inventario se presentan las emisiones totales estimadas para 5 contaminantes, que incluyen:

- Carbono negro (CN)
- Material particulado menor a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$)
- 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). En la Tabla 1 se muestran las actividades evaluadas para el cálculo de las emisiones de carbono negro y los contaminantes criterio para diferentes sectores, como: 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.

Tabla 1. Actividades evaluadas en el inventario de emisiones de carbono negro 2010-2014 (IDEAM, 2020)

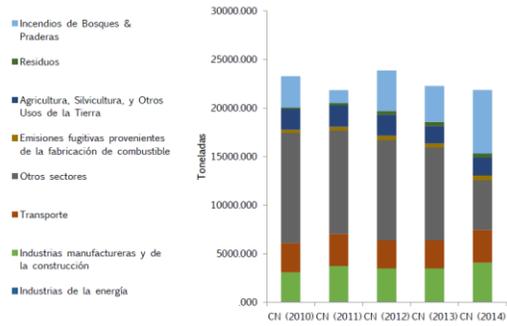
Categoría	Código IPCC y descripción
Energía	1A1a Producción de electricidad y calor como actividad principal
	1A1ai Generación de electricidad en centrales térmicas (& plantas de generación en ZIN)
	1A1aii Generación combinada de calor y energía (CHP)
	1A1aiii Plantas generadoras de energía (CHP)
	1A1b 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

Categoría	Código IPCC y descripción
	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
	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

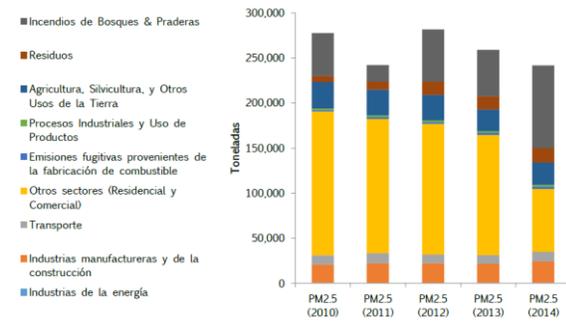
3.2. Emisiones de carbono negro entre 2010 y 2014

En 2014 se emitieron 21581 toneladas de carbono negro a la atmósfera en Colombia. Para 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 2).

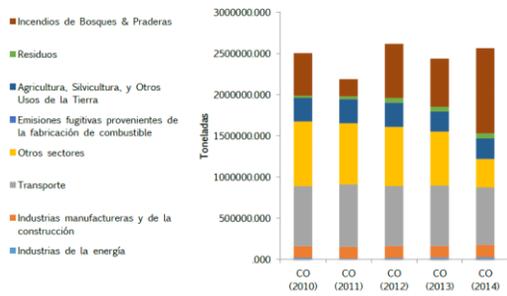
Carbono negro



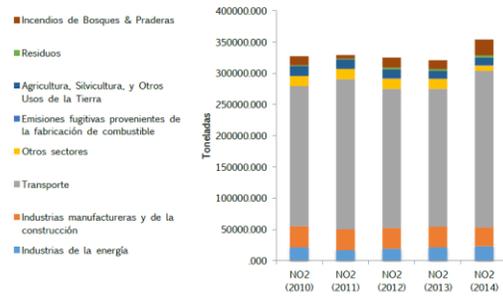
PM_{2.5}



Monóxido de carbono



Dióxido de nitrógeno



Dióxido de azufre

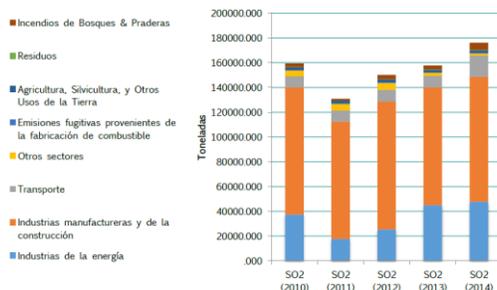


Figura 2. Emisiones totales de carbono negro y contaminantes criterio entre 2010 y 2014

El carbono negro (CN) se forma principalmente durante la quema de combustibles y biomasa, es emitido cuando existe una limitante de oxígeno y calor disponible en el proceso de combustión para quemar completamente el combustible y es un importante constituyente del material particulado menor a 2.5 µm. 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 3). Los incendios de bosques y praderas generaron el 29.87% 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 16.81% del total de las emisiones de este contaminante (IDEAM, 2020).

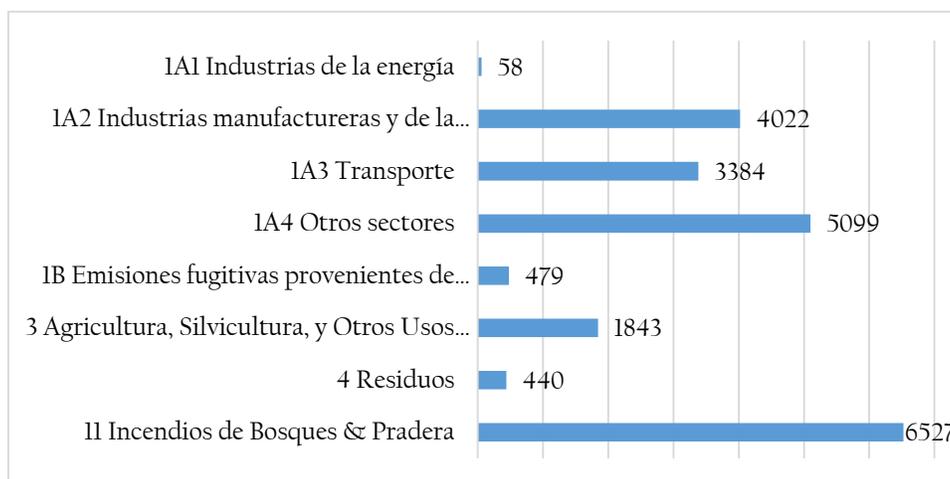


Figura 3. Emisiones totales de Carbono Negro en toneladas para el año 2014 (IDEAM, 2020)

Las principales fuentes de carbono negro son a su vez, las principales fuentes de contaminantes criterio (Figura 2). Por ejemplo, los incendios de bosques y praderas y el

sector residencial y comercial (otros sectores) son fuentes importantes de emisiones de $PM_{2.5}$ y CO. Dentro del sector residencial, el uso de leña en áreas rurales contribuyó con 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 NO_2 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.

4. Medidas de mitigación de emisiones de carbono negro

Habiendo identificado los principales sectores de fuentes de emisión de carbono negro en Colombia en la Sección 3.2, se desean enfocar los esfuerzos de mitigación en cuatro sectores claves, por su potencial de reducción de emisiones de este contaminante:

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, inicialmente, se actualizó el escenario de línea de base para cada sector, teniendo como punto de partida un ejercicio de modelación previo, realizado con la financiación de la Coalición de Clima y Aire Limpio y el apoyo de SEI, con el fin de proyectar los cambios de las emisiones en el futuro (2030) sin la implementación de políticas y medidas adicionales. Luego, se definieron las medidas de mitigación por cada sector y se proyectó el impacto de su aplicación en las emisiones totales de carbono negro a 2030, guardando congruencia con el ejercicio de modelación de las emisiones de GEI para la actualización de la NDC.

Los factores de emisión utilizados en este ejercicio fueron obtenidos de *EMEP/EEA Air Pollution Emission Inventory Guidebook 2019*, excepto para el sector ladrillero, debido a que se han hecho esfuerzos locales, apoyados por la Coalición de Cima y Aire Limpio, para estimar factores de emisiones locales para diferentes tipos de hornos. En los casos en los que había suficiente información de años históricos que permitieran construir tendencias, los drivers de crecimiento a 2030 fueron elaborados a partir de una línea tendencial. Estos datos fueron refinados con el escenario de referencia definitivo para las reducciones de GEI, realizadas en el marco de la NDC, con el fin de mantener congruencia en las estimaciones.

Partiendo de la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta y del Primer Inventario Nacional Indicativo de Emisiones de Contaminantes Criterio y Carbono Negro 2010-2014, se definieron medidas de mitigación 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 2 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, con viabilidad política y técnica.

Tabla 2. 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

Sector económico	Nombre de la medida	Descripción	Condición de la medida
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
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 pesar del gran aporte en términos de emisiones de carbono negro y otros contaminantes criterios de los incendios de bosques y praderas, mencionados en la Sección 3.2, 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. A continuación se describe con mayor detalle la metodología aplicada para la evaluación de cada medida de mitigación mencionada en la Tabla 2.

4.1. Reducción de quemas agrícolas

La quema de residuos agrícolas es una práctica habitual en las zonas rurales, que se realiza con el fin de controlar las plagas en ciertos cultivos y/o limpiar los campos de manera rápida y económica después de la cosecha, facilitando así las actividades de labranza. Esta actividad, que está asociada principalmente a emisiones de CCVC y contaminantes criterio, representa un esfuerzo adicional a los compromisos tomados para reducir las emisiones de GEI.

Para estimar las emisiones potenciales de carbono negro producidas por esta actividad, se evaluó la producción de cuatro cultivos diferentes: arroz, trigo, maíz y caña de azúcar. Para este último, la mayoría de los datos fue adquirida en los Reportes de Sostenibilidad del Sector Azucarero – ASOCAÑA 2014 a 2019 (ASOCAÑA, 2016, 2018, 2020), sin embargo, para los otros cultivos, la información fue limitada, por lo que se optó por utilizar la información oficial de la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, para los años base 2010-2014.

Con el fin de realizar un ejercicio indicativo del potencial de reducción de emisiones, la actividad a evaluar fue la cantidad de residuos de cultivo quemados, la cual se encuentra en función de la fracción de residuos por cosecha, la fracción de materia seca en el cultivo, la fracción del residuo quemado en campo, la fracción oxidada y la producción anual del cultivo. Para las fracciones, exceptuando la de residuos quemados en campo, se tomó la información por defecto establecida en el capítulo 2 de las guías del IPCC 2006, volumen 4, mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3. Variables para la estimación de la actividad de la cantidad de residuos quemados para cada cultivo, 2010-2014

Variable	Año	Cultivo			
		Arroz ¹	Trigo ¹	Maíz ¹	Caña de azúcar ²
Producción anual (millones de toneladas)	2010	1.988	0.015	1.422	20.273
	2011	2.010	0.013	1.720	22.729
	2012	2.318	0.009	1.873	20.824
	2013	1.997	0.008	1.779	21.568
	2014	2.207	0.006	1.803	24.283
Fracción residuo quemado en campo	2010	13.3	22.6	36.7	20.5
	2011	13.9	25.1	35	18.8
	2012	11.4	26.3	34.4	20.3
	2013	14.3	23.6	35.4	16.5
	2014	11.5	27.1	28	14.7
Total residuos quemados (toneladas/año)	2010	284.1	3.9	131.8	635.2
	2011	299.1	3.7	151.9	622.4
	2012	284	2.7	162.7	646.8

Variable	Año	Cultivo			
		Arroz ¹	Trigo ¹	Maíz ¹	Caña de azúcar ²
	2013	306.5	2.3	159	462.8
	2014	271.7	2	127.7	408.5

¹ FAOSTAT. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data>

² IDEAM. (2020). 1er inventario indicativo nacional de emisiones de contaminantes criterio y carbono negro 2010-2014.

Para las proyecciones de la línea base, se asumió una producción constante de los cultivos desde 2015 hasta 2030, basada en el promedio de producción nacional entre los años 2010 y 2017. Las otras variables, permanecieron constantes hasta 2030. Por otro lado, se evaluó la reducción de las emisiones de carbono negro, proyectando una reducción del 20% de las quemaduras agrícolas para 2030 (Figura 4). Además, para realizar las proyecciones de la línea base y de la medida de mitigación, se utilizaron los factores de emisión por defecto del *EMEP/EEA air pollution emission inventory guidebook 2019* asignados para la categoría 3F - *Quema de residuos agrícolas en campo*.

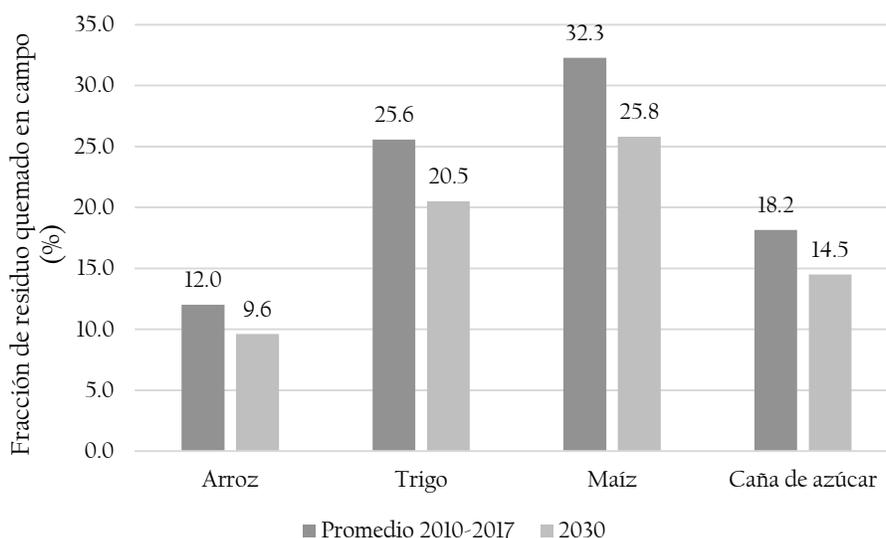


Figura 4. Reducción del 20% de fracción de residuo quemado en campo a 2030

Al evaluar los resultados, en el escenario inercial, se espera un incremento total de las emisiones de carbono negro de 437 toneladas a 493 toneladas entre 2014 y 2030. La implementación de la medida de mitigación descrita lograría una reducción de aproximadamente 42 toneladas de carbono negro a 2030 respecto al año base (2014), es decir, una reducción del 10% respecto a lo proyectado (Figura 5).

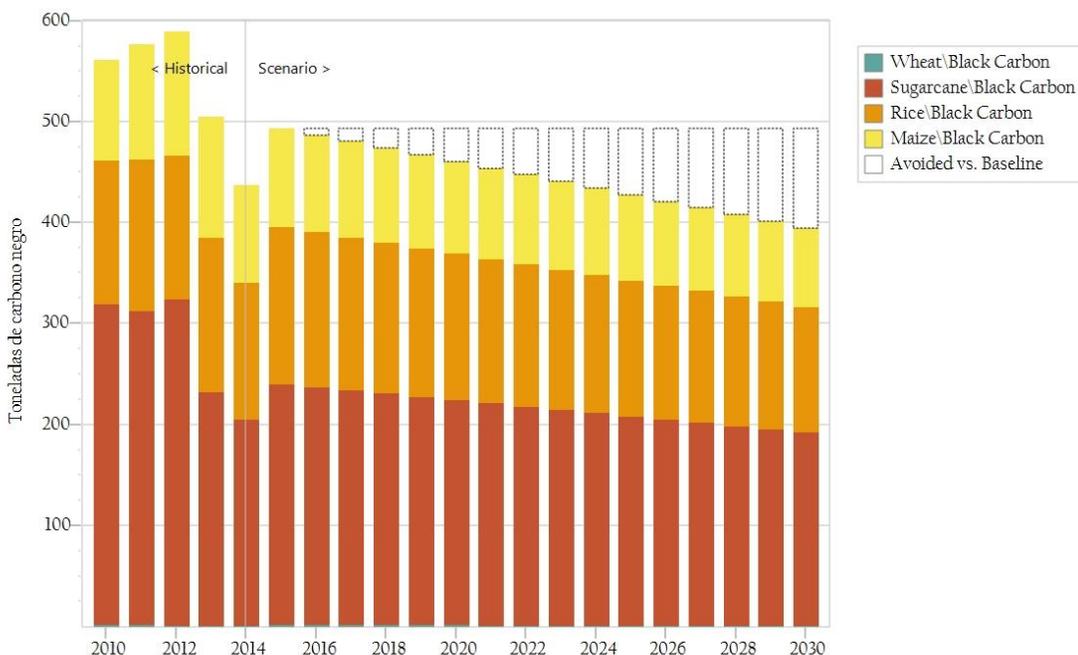


Figura 5. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de mitigación de quemas agrícolas)

4.2. Estrategia de desarrollo bajo en emisiones para la cadena de producción de la panela en Colombia (NAMA Panela)

El subsector panelero tiene un papel representativo en la economía nacional, pues es la segunda agroindustria en importancia social del país después del café. En 2010, asociados a 22000 trapiches, la producción del sector panelero fue de 1.500.000 toneladas de panela con un crecimiento proyectado del 1.5%. Durante el proceso de molienda a través de los trapiches, el suministro de energía está asociado principalmente al uso de diésel, que representa el 51% de los combustibles usados, seguido por 24% eléctrico, siendo el resto por tracción animal. Además, para la estimación de las emisiones asociadas a la energía de evaporación de agua para la extracción del jugo, asociada a la combustión en la hornilla, se utilizó el tipo de combustibles usados (bagazo, leña, caucho, carbón) y la cantidad de madera por tonelada de panela producida (Fedepanela, 2015).

Este sector se modeló basado en la intensidad de energía final para electricidad y los combustibles usados en diferentes etapas del proceso de producción (Tabla 4). El consumo de diésel proyectado durante a molienda presenta un cambio de magnitud importante para 2017, con una disminución de aproximadamente 5 millones de litros de diésel (Figura 6). La proyección de la línea base contempla una reducción anual del 1% de los trapiches existentes, es decir que, a 2030 existirán 17988 trapiches.

Tabla 4. Intensidad de energía final por combustible 2015-2030

Parámetro	2015	2020	2025	2030
Toneladas de panela producidas	1615926	1740811	1875348	2020283
Intensidad de energía final (GJ combustible/ tonelada de panela)				
Diésel	0.5530	0.4294	0.4066	0.3839
Electricidad	0.4569	0.6152	0.6452	0.6751
Leña	6.3258	6.5460	6.3414	6.1349
Caucho	0.2815	0.2913	0.2822	0.2730
Carbón mineral	0.8831	0.9138	0.8852	0.8564
Bagazo	9.2016	9.8119	9.9930	10.1647

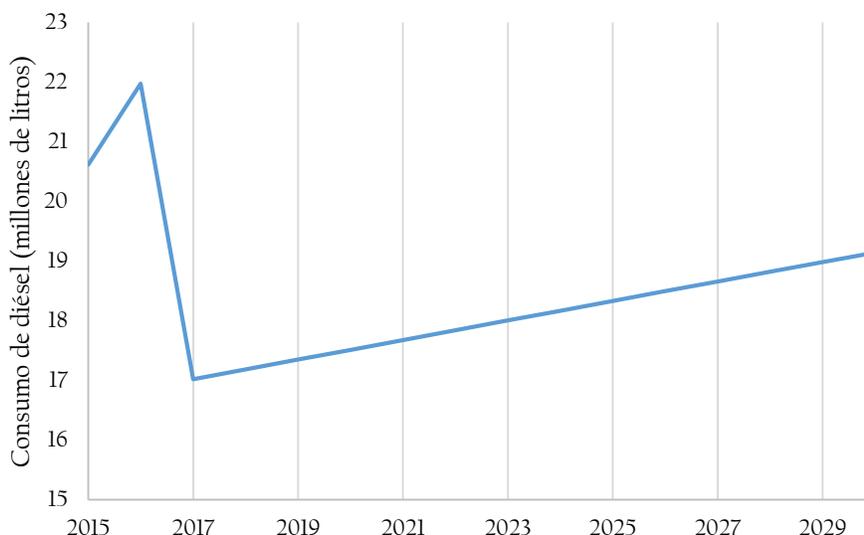


Figura 6. Consumo anual proyectado de diésel durante el proceso de molienda en los trapiches

El sector Agropecuario, la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) en conjunto con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, priorizaron aquellos proyectos de Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada (NAMA) que, por su importancia en la economía nacional, representatividad en el sector y avances en el tema de mitigación, podrían significar un punto de partida clave para el desarrollo de este tipo de acciones (Fedepanela, 2015). El Ministerio de Agricultura definió una medida asociada a la eficiencia energética del sector panelero – NAMA Panela, las cuales abarcan cambios en motores diésel por motores eléctricos, un aumento en el uso de biomasa para procesos que requieren energía térmica, cambios en tecnologías asociadas al proceso, entre otras medidas (ONF Andina, 2017).

La NAMA incorpora diferentes medidas para las fases de cultivo, procesamiento, y manejo de subproductos de la cadena productiva. En el componente de procesos pretende desarrollar acciones para 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. A la fecha se tiene prevista la reconversión tecnológica de 1500 trapiches, entre 2021 y 2030, con una transición de 150 trapiches anuales (ONF Andina, 2017).

Para realizar las proyecciones de la línea base y de las medidas de mitigación, se utilizaron los factores de emisión Tier 2 por defecto del *EMEP/EEA air pollution emission inventory guidebook 2019* asignados para la categoría *1.A.4.c Agriculture / forestry / fishing*. Al evaluar los resultados, en el escenario inercial, se espera un incremento total de las emisiones de carbono negro de 1234 toneladas a 1219 toneladas entre 2014 y 2030. La implementación de la medida de mitigación descrita lograría una reducción de aproximadamente 51 toneladas de carbono negro a 2030 respecto al año base (2014), es decir, una reducción del 4% respecto a lo proyectado (Figura 7).

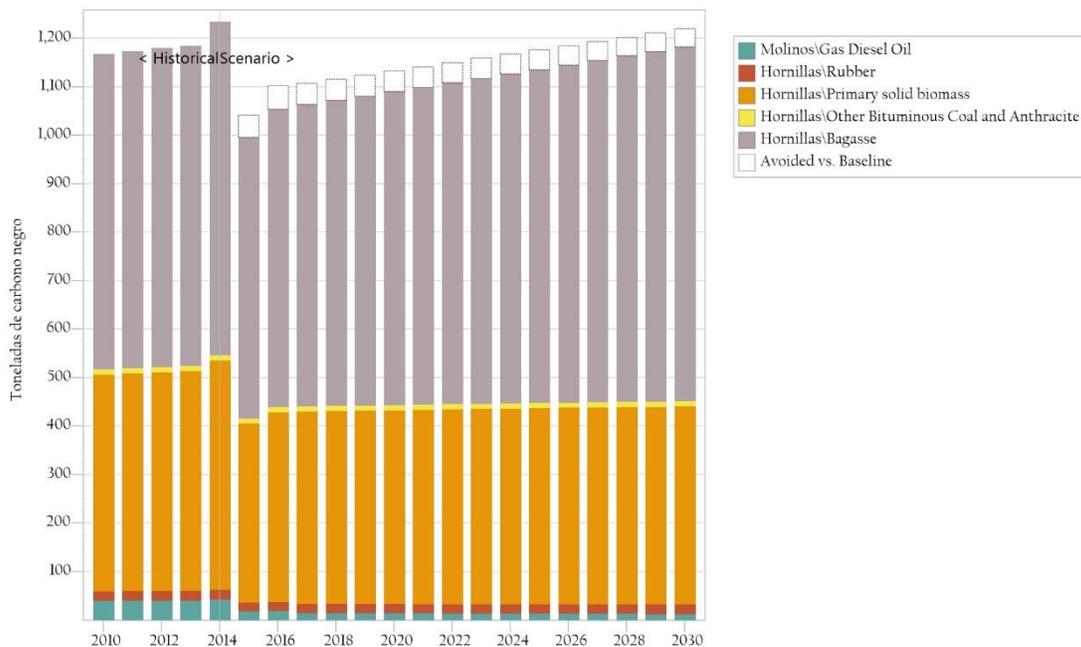


Figura 7. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de mitigación NAMA Panela)

4.3. Desarrollo Integral de Empresas Ladrilleras

Como punto de partida para la estimación de la línea base, se utilizó la información del Inventario Nacional del Sector Ladrillero Colombiano, en donde, para el año 2015, se tuvo

una producción de 12.703.872 toneladas de arcilla que fueron proyectadas a 2030, teniendo como driver un crecimiento del 3.3%. Asumiendo que esta tasa es constante entre 2010 y 2030, es posible extrapolar hacia atrás en el tiempo para encontrar, a partir de las toneladas producidas en 2015, el valor correspondiente para 2010, el cual sería de 10.800.267 toneladas de arcilla. Por otro lado, en cuanto al uso de combustible, el carbón mineral predomina en esta industria, seguido por el uso de biomasa (Figura 8).

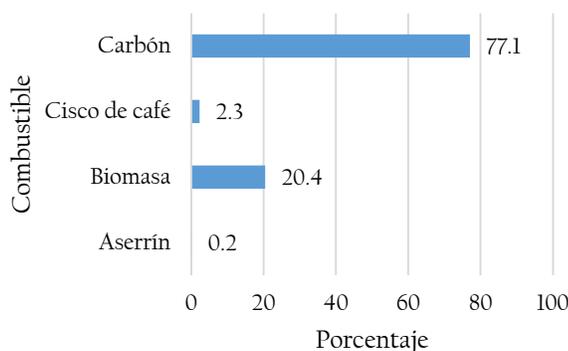


Figura 8. Consumo energético del sector ladrillero para el año 2015 (Corporación Ambiental Empresarial CAEM, 2015)

Los porcentajes de participación de cada una de las diferentes tecnologías de hornos ladrilleros, divididos entre aquellos de tipo intermitente y continuo, donde el primero presenta una participación del 49.38%. Estos porcentajes están dados en función de las toneladas producidas por cada tipo de horno para el año 2015, con respecto al total para ese mismo año (Tabla 5). Estos porcentajes de participación se asumen constantes entre los años 2010 y 2014. Además, se calculó la intensidad energética de cada tipo de horno. La estimación se realizó con base en el estudio “Línea base nacional final 2016” que, por tipo de horno ladrillero, relaciona la producción de ladrillos en toneladas por energético utilizado.

Tabla 5. Producción de ladrillos por tipo de horno (Corporación Ambiental Empresarial CAEM, 2015)

Tipo de horno	Arcilla cocida anual (ton/año)	%Producción	Intensidad energética
Intermitentes			
Fuego dormido	532566	10.80	0.0806
Pampa	2663884	40.61	0.0696
Colmena	2156506	44.19	0.0815
Baúl	36096	0.74	0.0805
Cámaras semicontínuas	103716	0.60	0.0587
Vagón	187428	3.05	0.0801
Continuos			
Cámaras continuas	57204	1.05	0.0454

Tipo de horno	Arcilla cocida anual (ton/año)	%Producción	Intensidad energética
Hoffman	1937140	38.41	0.0397
Rodillos	85854	2.52	0.034
Túnel	3656453	54.15	0.0445
ZigZag	186258	3.87	0.0500

Para las proyecciones de línea base, además de definir la tasa de crecimiento del sector de 3.3%, manteniendo concordancia con el ejercicio de modelación de GEI, se asume constante la participación porcentual de los diferentes tipos de hornos dentro de la producción nacional anual. Esto implica que para la línea base no se presentan escenario de reconversión tecnológica.

Por otro lado, el escenario de mitigación asume la misma producción de ladrillos en toneladas por año con respecto a la línea base; es decir, que cada año, la producción total de ladrillos crecerá 3.3%. La diferencia radica en que se incorporan criterios de reconversión tecnológica que inciden en la participación porcentual de diferentes tipos de hornos ladrilleros, desplazando parte de la producción de ladrillos hacia tecnologías más limpias, en donde, se proyectan los siguientes proyectos de transición de manera paulatina de los siguientes tipos de hornos a tecnologías semicontinuas (Figura 9):

- 47% de hornos tipo fuego dormido
- 25% de hornos tipo pampa
- 17% de hornos tipo Colmena

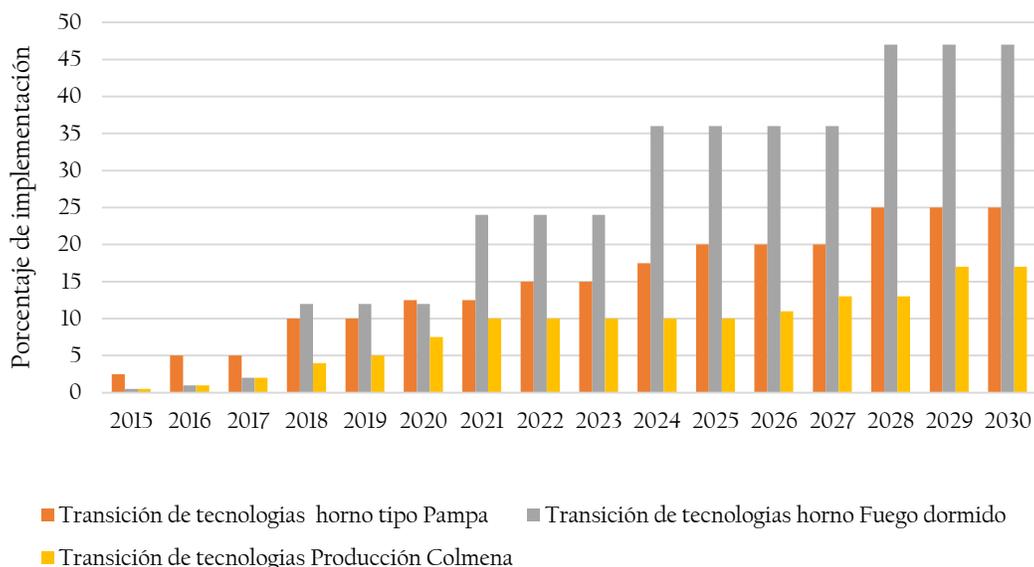


Figura 9. Porcentaje de sustitución de hornos respecto a la medida de mitigación

Con estos datos se proyectó la disminución porcentual de participación de los hornos fuego dormido, pampa y colmena por reconversión tecnológica a hornos semicontinuos a partir del año 2015 y hasta 2030. Además, se asume que no hay más construcción de hornos fuego dormido, pampa y colmena a partir del 2015, y que crecimiento tendrá lugar en los hornos de semicontinuos.

Para realizar las proyecciones de la línea base y de las medidas de mitigación, se utilizaron los factores de emisión estimados por la Corporación Ambiental Empresarial – CAEM, con el apoyo de la Coalición de Clima y Aire Limpio para Colombia, presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. 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

Horno	PM _{2.5}	CN	CO	SO ₂
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

Al evaluar los resultados, en el escenario inercial, se espera un incremento total de las emisiones de carbono negro de 518 toneladas a 871 toneladas entre 2014 y 2030. La implementación de la medida de mitigación descrita lograría una reducción de aproximadamente 83 toneladas de carbono negro a 2030, es decir, una reducción del 10% respecto a lo proyectado (Figura 10).

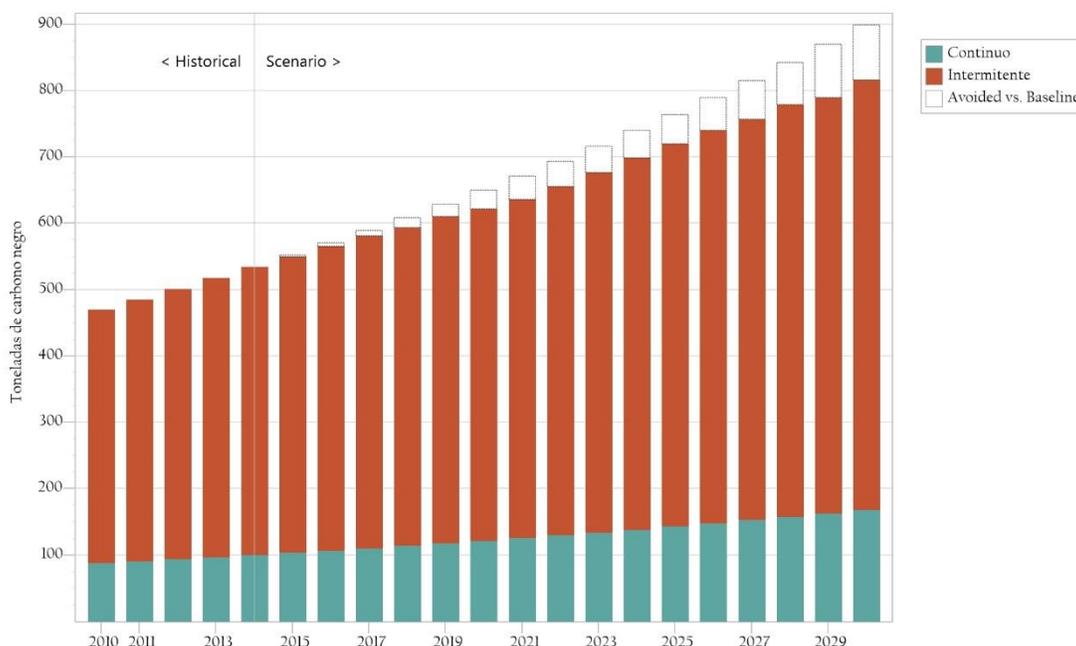


Figura 10. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de mitigación ladrilleras)

4.4. Programa de estufas eficientes de leña

Para este sector, la población es el impulsor de la demanda de combustible y, por lo tanto, de las emisiones de carbono negro y otros contaminantes. Los patrones de consumo según el uso final y los combustibles varían entre los hogares rurales y urbanos, la demanda de combustibles se evaluó por separado, en donde, para cada subsector, se desagregaron las

categorías de consumo en calentamiento directo y los demás usos finales se agregaron en una sola categoría, debido a que la principal fuente de CCVC se presenta en la quema de combustibles fósiles y biomasa para cocina y calefacción.

Para mantener congruencia con el escenario de GEI, se utilizaron las mismas fuentes de información, en donde, las estadísticas sobre hogares rurales y urbanos para el año 2015 se obtuvieron del Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. Para la construcción de la línea base, las proyecciones de la actividad estaban en función del crecimiento poblacional hasta el año 2030 y el número de viviendas urbanas y rurales (Figura 11), el cual fue estimado a partir del porcentaje de áreas urbana y/o rural, y la cantidad de personas por hogar urbano y/o rural (Ecuación 2).

$$\text{Hogares urbanos (rurales)} = \frac{\text{Población total} * \% \text{ área urbana (rural)}}{\text{Personas/hogar urbano (rural)}} \quad (2)$$

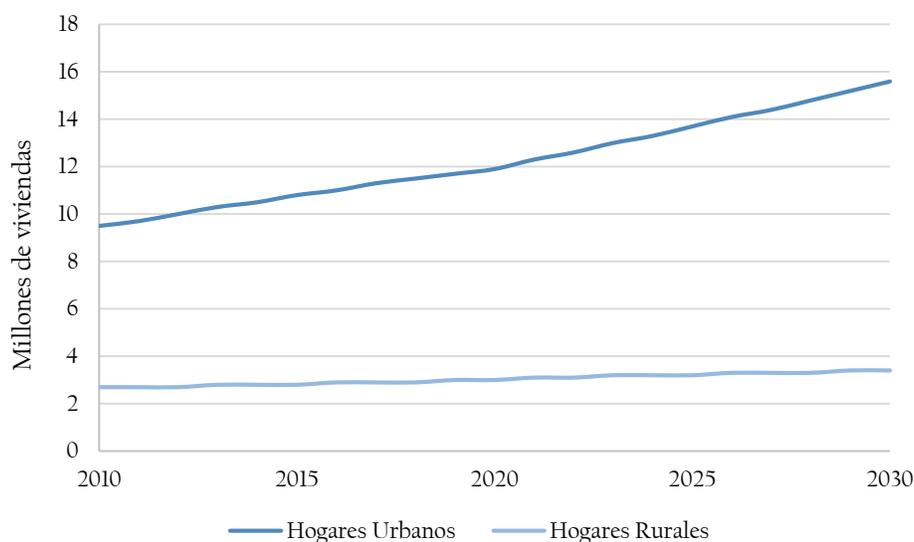


Figura 11. Proyección de número de viviendas urbanas y rurales a 2030 (DANE, 2020)

Por otro lado, el Balance de Energía Útil de la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME para el sector residencial en el año 2015, proporciona el consumo de energía útil por uso final para los hogares rurales y urbanos. En la Tabla 7 se presenta la intensidad energética útil para los usos definidos en hogares rurales y urbanos, los cuales se asumieron constantes hasta 2030, debido a la disponibilidad de la información. La intensidad de energía útil agregada en la categoría otros, se obtuvo a partir de los resultados de la demanda de energía útil del ejercicio de modelación para GEI.

Tabla 7. Intensidad de energía útil en hogares urbanos y rurales (MJ/Hogar) (UPME, 2019a; UPME, 2019b)

Uso final	Urbano (MJ/Hogar)	Rural (MJ/Hogar)
Calor directo	2446	2661
Otros	1360	1215

La distribución de combustibles utilizados para la categoría de calor directo varía en las zonas urbanas y rurales. Sin embargo, mientras que el gas natural presenta la mayor proporción asociada al calor directo en las áreas urbanas, en los hogares rurales la mayor proporción es liderada por la leña seguido por el GLP (Tabla 8). Además, en la Tabla 8, también se muestran las eficiencias técnicas existentes basados en estos combustibles. Debido a la falta de disponibilidad de información, se asume que la distribución de combustible y las eficiencias existentes permanecerán constantes hasta 2030.

Tabla 8. Participación de combustible (%) y eficiencia (%) para Calor Directo (UPME, 2019a; UPME, 2019b)

Combustible	Urbano (%)	Rural (%)	Eficiencia existente (%)
Electricidad SIN	8.2	5.1	73
Gas Natural	73.1	1.5	42
Leña	1.1	44.7	3
GLP	16.2	39.5	42
Carbón	1.2	7.4	30
Queroseno	0.1	1.7	38

Por otro lado, la medida de mitigación consiste en el reemplazo progresivo de alrededor de un millón de estufas tradicionales que utilizan leña para cocción de alimentos, por estufas más eficientes en los hogares del sector rural, hasta el año 2030, las cuales, no solo presentan un potencial de reducción en emisiones de diversos contaminantes y GEI, sino un impacto positivo en la degradación del bosque por remoción de leña para cocción en hogares rurales. Para las proyecciones de la medida de mitigación, se asume lo siguiente que la eficiencia de la estufa aumenta al 25% y se mantiene constante gracias al mantenimiento adecuado. En la Figura 12 se muestran las tasas de implementación de las estufas hasta 2030, en donde, para este año, se tendrá que el 39.7% de los hogares rurales, tendrán una estufa eficiente de leña.

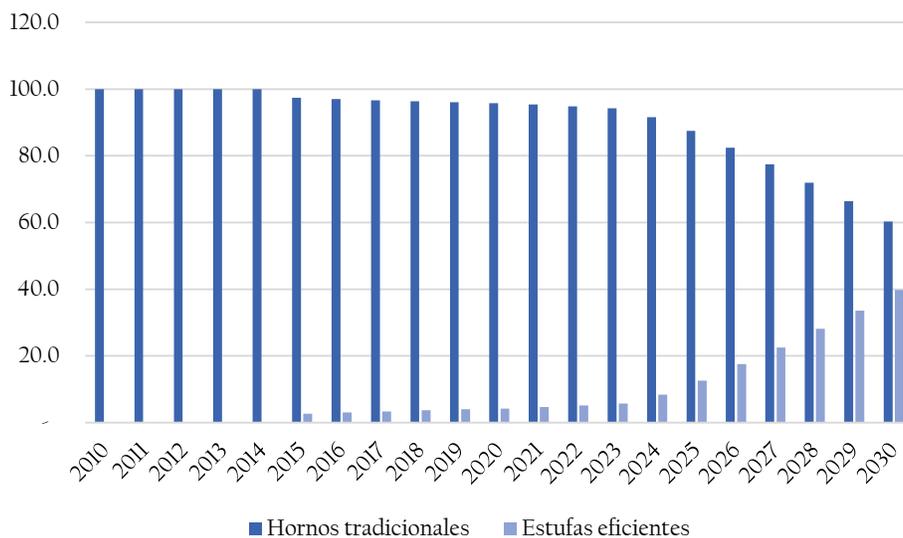


Figura 12. Porcentaje de implementación de estufas eficientes de leña hasta 2030

Para realizar las proyecciones de la línea base y de las medidas de mitigación, se utilizaron los factores de emisión por defecto del *EMEP/EEA air pollution emission inventory guidebook 2019* asignados para la categoría *1.A.4 Small combustion*, donde, para el uso de leña, se dividió el consumo para fogones tradicionales y para estufas más eficientes, cuyos factores de emisión difieren entre sí, siendo más óptimos los de la segunda. En la Tabla 1 se muestran los factores de emisión utilizados para este ejercicio.

Tabla 9. Factores de emisión para fogones tradicionales y estufas eficientes de leña 1.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

Al evaluar los resultados, en el escenario inercial, se espera un incremento total de las emisiones de carbono negro de 4564 toneladas a 5624 toneladas entre 2014 y 2030. La implementación de la medida de mitigación descrita lograría una reducción de aproximadamente 883 toneladas de carbono negro a 2030 respecto al año base (2014), es decir, una reducción del 19% respecto a lo proyectado (Figura 13).

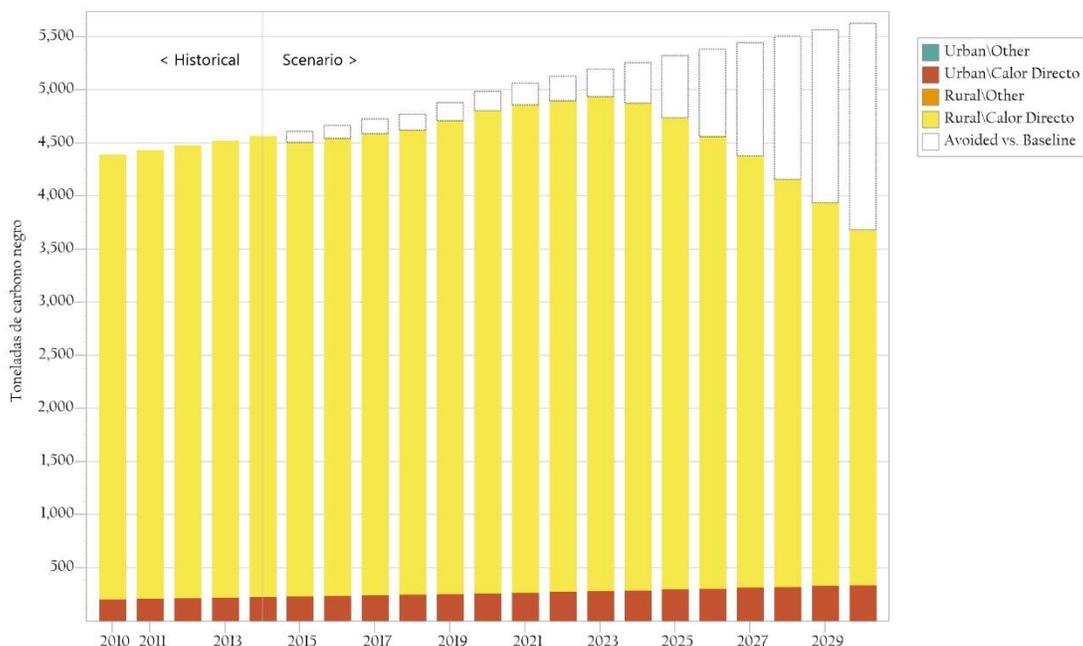


Figura 13. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de mitigación estufas eficientes de leña)

4.5. Implementación estándares de emisiones Euro IV y Euro VI para nuevos vehículos diésel

La implementación de tecnologías Euro IV y Euro VI para vehículos diésel es una medida adicional a los esfuerzos de reducción de GEI comprometidos por el país. Sin embargo, al estar enmarcadas en regulaciones vigentes, se hace pertinente evaluar el potencial de reducción de emisiones de carbono negro y otros contaminantes criterio. Para evaluar la reducción potencial de carbono negro, la línea base se construyó partiendo de las cifras del Registro Único Nacional de Transporte – RUNT de 2019 (Tabla 10 y Tabla 11), utilizando un enfoque *bottom-up* para estimar las emisiones del sector.

Tabla 10. Número de vehículos registrados en Colombia, según la base de datos RUNT

Tipo de vehículo	Total de vehículos
Automóviles + camperos	4.631.675
Motocicletas + motocarros	9.165.153
Camionetas	1.404.112
Buses	155494
Microbuses	98353
Camiones	312506

Tractocamiones y volquetas	123024
Total general	15.890.317

Tabla 11. Distribución de la flota por tipo de combustible, según la base de datos RUNT

Tipo de vehículo	Porcentaje de vehículos por combustible			
	Gasolina	Diésel	Gas Natural	Eléctrico
Automóviles	95.56	2.91	1.53	---
Motocicletas	97.63	2.35		0.02
Vehículos de transporte público	28.24	68.81	2.95	---
Camionetas	77.02	20.79	2.19	---
Camiones	24.4	65.17	10.43	---
Tractocamiones	10.48	88.99	0.53	---

Con el fin de mantener la congruencia con la información de entrada en el ejercicio de modelación de GEI, se utilizaron las mismas curvas de supervivencia estimadas, y con éstas y la información del RUNT, se desarrolló un modelo de rotación de existencias o *stock turnover* para cada tipo de vehículo y cada tecnología, con el fin de evaluar la entrada de vehículos Euro IV y IV. Además, en la Tabla 12 se muestra la información sobre los factores de actividad de la flota vehicular en vehículos-kilómetros totales y su distribución por energético, los cuales son necesarios para estimar las emisiones.

Tabla 12. Actividad promedio anual de la flota por tipo de vehículo y combustible

Tipo de vehículo	Gas natural	Diésel	Gasolina
Automóvil	10000	12500	10000
Camioneta	8800	5500	5500
Motocicleta	---	13000	7500
Bus	64000	80000	10000
Microbús	64000	32000	10000
Camión	28000	20973	2000
Tractocamión	56000	62157	3000

La construcción de la línea base se realizó utilizando el modelo de *stock turnover*. De acuerdo con cifras del RUNT, y a partir de los periodos de entrada de tecnologías Euro al país, se hizo un estimado de la flota vehicular y el porcentaje de vehículos que tenían determinado sistema de control de emisiones como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Clasificación según pre-Euro y Euro II por categoría vehicular 2010-2030

Año	Automóviles	Camionetas	Bus	Camión	Tractocamión	Motocicletas
-----	-------------	------------	-----	--------	--------------	--------------

	Pre-Euro	Euro II										
2010	59.3	40.7	61.1	38.9	64.6	35.4	69.5	30.5	43.9	56.1	38.7	61.3
2011	54.3	45.7	55.5	44.5	62.4	37.6	66.4	33.6	40.8	59.2	34.7	65.3
2012	50.3	49.7	50.9	49.1	60.2	39.8	62.4	37.6	33.3	66.7	31.3	68.7
2013	47.3	52.7	46.0	54.0	58.2	41.8	59.1	40.9	30.3	69.7	28.2	71.8
2014	44.5	55.5	41.3	58.7	54.5	45.5	56.5	43.5	28.7	71.3	23.8	76.2
2015	41.7	58.3	36.9	63.1	51.4	48.6	51.7	48.3	26.1	73.9	20.1	79.9
2016	39.9	60.1	34.7	65.3	49.5	50.5	50.2	49.8	25.7	74.3	17.1	82.9
2017	38.6	61.4	33.0	67.0	47.9	52.1	49.4	50.6	25.8	74.2	15.8	84.2
2018	37.8	62.2	31.9	68.1	46.9	53.1	49.3	50.7	26.2	73.8	15.3	84.7
2019	36.7	63.3	30.6	69.4	42.9	57.1	47.4	52.6	26.2	73.8	14.7	85.3
2020	35.9	64.1	30.0	70.0	39.9	60.1	46.2	53.8	27.1	72.9	14.7	85.3
2021	34.9	65.1	29.1	70.9	37.2	62.8	45.1	54.9	28.6	71.4	14.5	85.5
2022	33.6	66.4	28.2	71.8	34.7	65.3	43.8	56.2	29.3	70.7	14.3	85.7
2023	32.2	67.8	27.1	72.9	32.6	67.4	42.3	57.7	29.0	71.0	13.9	86.1
2024	29.9	70.1	25.2	74.8	30.3	69.7	40.2	59.8	28.2	71.8	12.7	87.3
2025	27.8	72.2	23.3	76.7	28.4	71.6	38.3	61.7	27.6	72.4	11.6	88.4
2026	25.7	74.3	21.4	78.6	26.6	73.4	36.3	63.7	27.4	72.6	10.2	89.8
2027	23.3	76.7	19.2	80.8	24.7	75.3	33.7	66.3	26.5	73.5	8.6	91.4
2028	21.3	78.7	17.3	82.7	22.1	77.9	31.0	69.0	25.0	75.0	7.2	92.8
2029	19.3	80.7	15.4	84.6	19.4	80.6	29.2	70.8	22.7	77.3	6.3	93.7
2030	18.0	82.0	14.5	85.5	18.0	82.0	28.3	71.7	22.1	77.9	5.8	94.2

De acuerdo con la Resolución IIII de 2013 de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y 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. Además, se establece que todas las motocicletas nuevas deberán a su vez cumplir con los estándares de emisión Euro III a partir de 2021. Para evaluar la implementación de tecnologías Euro IV y VI para vehículos y Euro III para motocicletas, con las proyecciones estimadas de entrada de nuevos vehículos con el *stock turnover* y a partir de los periodos de entrada de tecnologías Euro al país, se hizo un estimado de la flota vehicular y el porcentaje de vehículos con los estándares de emisión establecidos (Tabla 14).

Tabla 14. Clasificación según Euro III (motocicletas), Euro IV y Euro VI por categoría vehicular 2015-2030

Año	Automóviles		Camionetas		Bus		Camión		Tractocamión		Motocicletas
	Euro IV	Euro VI	Euro IV	Euro VI	Euro IV	Euro VI	Euro IV	Euro VI	Euro IV	Euro VI	Euro III
2015	5.7	0.0	10.6	0.0	4.7	0.0	5.4	0.0	3.2	0.0	0.0

2016	10.3	0.0	17.8	0.0	7.3	0.0	8.0	0.0	3.1	0.0	0.0
2017	13.8	0.0	23.6	0.0	9.5	0.0	10.3	0.0	3.3	0.0	0.0
2018	16.6	0.0	28.3	0.0	10.9	0.0	11.4	0.0	3.6	0.0	0.0
2019	19.7	0.0	33.2	0.0	18.2	0.0	16.1	0.0	6.3	0.0	0.0
2020	22.6	0.0	36.8	0.0	23.7	0.0	19.7	0.0	8.8	0.0	0.0
2021	25.8	0.0	40.3	0.0	29.1	0.0	23.4	0.0	11.6	0.0	6.9
2022	29.2	0.0	43.6	0.0	34.2	0.0	26.9	0.0	14.7	0.0	12.9
2023	26.8	5.8	38.0	8.4	30.6	8.1	24.5	5.7	13.8	3.5	18.7
2024	25.4	11.0	34.9	14.5	28.6	14.4	23.1	10.3	12.8	6.5	24.3
2025	24.0	16.3	32.3	20.0	26.6	20.2	21.9	14.7	12.5	9.6	29.5
2026	22.5	21.5	29.9	25.0	24.9	25.6	20.8	18.8	11.6	12.2	34.6
2027	21.1	26.5	28.1	29.8	23.4	30.6	19.8	22.8	10.5	14.2	39.5
2028	19.7	31.4	26.4	34.3	22.2	35.6	19.0	26.8	10.0	16.7	44.3
2029	18.4	36.2	24.8	38.8	21.1	40.6	17.9	30.5	9.7	19.7	49.0
2030	17.1	40.6	23.0	42.6	19.8	44.7	16.8	33.7	9.2	22.0	53.0

Para realizar las proyecciones de la línea base y de implementación de estándares Euro III para motocicletas y Euro IV y Euro VI para vehículos diésel, se utilizaron los factores de emisión Tier 2 por defecto del *EMEP/EEA air pollution emission inventory guidebook 2019* asignados para la categoría *1.A.3.b Road transport*. Al evaluar los resultados, en el escenario inercial, se espera un incremento total de las emisiones de carbono negro de 4450 toneladas a 3291 toneladas entre 2014 y 2030. La implementación de la medida de mitigación descrita lograría una reducción de aproximadamente 2729 toneladas de carbono negro a 2030 respecto al año base (2014), es decir, una reducción del 61% respecto a lo proyectado (Figura 14).

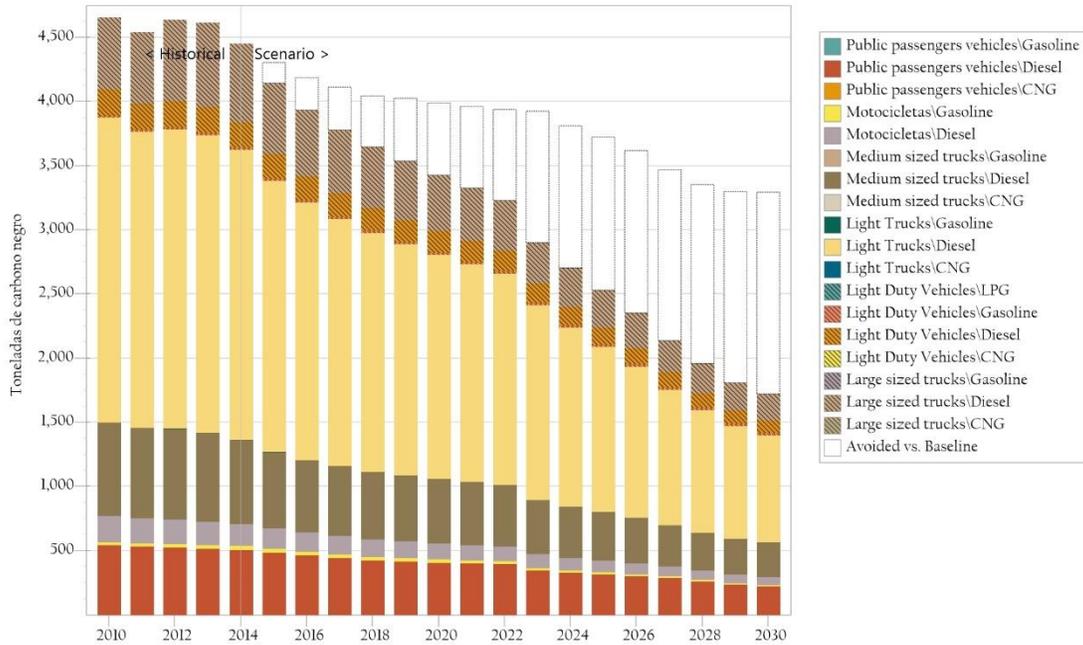


Figura 14. Emisiones evitadas de CN en toneladas métricas (línea base vs escenario de implementación Euro IV y Euro VI)

4.6. Maquinaria nueva con estándares de emisiones Tier 4I

En el marco normativo colombiano, se prevé la expedición de una nueva norma indicando que, a partir del 2023, parte de la maquinaria fuera de carretera deberá cumplir como mínimo con los estándares *Tier 4 Interim o Stage IIIB*, siendo ésta una medida adicional a los esfuerzos de reducción de GEI comprometidos por el país, por lo que se hace pertinente evaluar el potencial de reducción de emisiones de carbono negro y otros contaminantes criterio.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), a través de la Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana (DAASU) y el Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina Plus (CALAC+), financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) e implementado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (SWISSCONTACT), presentan en este documento el Primer Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles de Uso Fuera de Carretera en Colombia, 2020, realizado con enfoque en Maquinaria de Construcción, Industrial y Agrícola, donde se sugiere que para el sector, en el año 2018 se emitieron 1973 toneladas de carbono negro.

En el marco de este inventario y con el apoyo de SWISSCONTACT, se han estimado a 2030 las emisiones de diferentes contaminantes, incluido el carbono negro, con pendiente publicación. En este ejercicio, las proyecciones se realizaron con una herramienta de

elaboración propia, definiendo una línea base y un escenario de reducción, que se describen a continuación:

- Línea base: La maquinaria no tiene ninguna regulación normativa y su nivel tecnológico depende únicamente de su año de fabricación. Este nivel es determinado respecto al cronograma de estándares de emisiones de Estados Unidos con un desfase de nueve años.
- Escenario de reducción: A partir del 2023, la maquinaria, sin importar su año de fabricación, debe cumplir como mínimo con los estándares mínimos *Tier 4 Interim o Stage IIIB*, excepto las que se describen a continuación:
 - i. Maquinaria agrícola.
 - ii. Maquinaria con una potencia inferior a 19 kW.
 - iii. Maquinaria con una potencia superior a 560 kW.

Para realizar las proyecciones de la línea base y de la medida de mitigación, se utilizaron los factores de emisión por defecto del Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b y *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook European Environment Agency (2019)* (MADS, 2020b). Al evaluar los resultados, en el escenario inercial, se espera un incremento total de las emisiones de carbono negro de 1793 toneladas a 2450 toneladas entre 2018 y 2030. La implementación de la medida de mitigación descrita lograría una reducción de aproximadamente 86 toneladas de carbono negro a 2030, es decir, una reducción del 4% respecto a lo proyectado.

4.7. Potencial de reducción de emisiones de carbono negro

Teniendo como año base los resultados del Primer Inventario Indicativo Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio y Carbono Negro, para el año 2014, se estimó que el total de emisiones de carbono negro fue de 21851 toneladas en donde el 64 % de las emisiones están asociadas a incendios de bosques y praderas, industrias manufactureras y de la construcción, y transporte (IDEAM, 2020). Excluyendo los incendios de bosques y praderas de las emisiones totales para el año 2014, por su gran complejidad en términos de información requerida para estimar las emisiones generadas por esta actividad, se partió de un valor base de 15325 toneladas de carbono negro.

Para evaluar el potencial de reducción de emisiones de carbono negro, se decidió estimar las emisiones de carbono negro 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 2, Secciones 4.1, 4.5 y 4.6), 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 propone como punto de partida, un objetivo cuantitativo de al menos un 30% de reducción de emisiones de carbono negro en el año 2030 respecto al 2014; representando una

disminución de 4588 toneladas de carbono negro, cuyo aporte está dado dividido en cantidades similares entre las medidas de reducción de GEI y las tres medidas adicionales evaluadas, dejando en evidencia la magnitud de su potencial impacto en la disminución de las emisiones de carbono negro (Tabla 15 y Figura 15).

Tabla 15. Potencial de reducción de carbono negro incluyendo las medidas de mitigación de GEI y las adicionales

Ejercicios de modelación	Reducción (tCN) 2014-2030	Porcentaje de reducción
Escenario de mitigación de GEI	2387.6	15.6
Medidas adicionales (Euro IV y VI, Reducción de 20% de quemas agrícolas, Maquinaria Tier 4I) (Tabla 2)	2200.9	14.4
Escenario de mitigación de GEI + Medidas adicionales (Euro IV y VI, Reducción de 20% de quemas agrícolas, Maquinaria Tier 4I)	4588.4	30

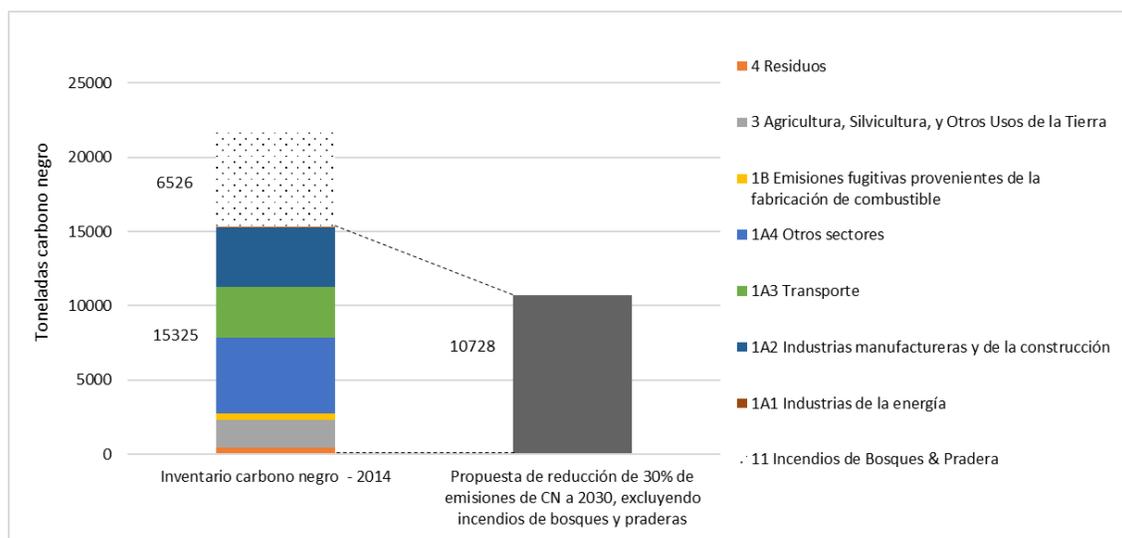


Figura 15. Meta de reducción de emisiones de carbono negro a 2030 (IDEAM, 2020)

4.8. Co-beneficios en reducción de contaminantes atmosféricos

El compromiso de reducción de las emisiones carbono negro es consistente con el esfuerzo general de mitigación comprometido por el país, con la adición de medidas específicas de descontaminación ambiental, relacionadas principalmente al cambio tecnológico de fuentes móviles y de maquinaria de uso fuera de carretera, y a la reducción de quemas agrícolas, descritas previamente. Las acciones de mitigación comprometidas, presentan co-beneficios adicionales en materia de salud pública, debido al mejoramiento de la calidad del aire local relacionado con la reducción en emisiones de contaminantes criterio, como se puede

observar en la Tabla 16, en los resultados preliminares, cuyos co-beneficios en salud, se proyectan como un trabajo a corto plazo.

Tabla 16. Co-beneficios en reducción de algunos contaminantes del aire con la implementación de las medidas de mitigación de GEI y CN

Contaminante	Reducciones totales (toneladas)
PM ₁₀	5901
PM _{2,5}	92275
NO _x	78263
VOC	17906

5. Recomendaciones para la inclusión de CCVC en la actualización de la NDC y en procesos de planeación en iniciativas de cambio climático en Colombia

La evaluación de las acciones de mitigación de carbono negro para Colombia descritas en la Sección 4, cuantifica el potencial para reducir las emisiones de CCVC y contaminantes atmosféricos de los esfuerzos de mitigación de GEI y 3 medidas adicionales, con viabilidad política y técnica. En general, la implementación completa de estas medidas podría reducir las emisiones de carbono negro en un 30% en 2030 en comparación con un año base. También se demostró que estas mismas acciones reducen sustancialmente las emisiones de CO₂ y una variedad de otros contaminantes del aire. Por lo tanto, son relevantes para su consideración en la actualización de la NDC de Colombia, con el fin de aumentar la ambición de reducir todas las sustancias que contribuyen al calentamiento de la atmósfera y los beneficios locales en términos de calidad del aire, con la potencial reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos, como PM y NO_x, mejorando aún más la calidad del aire y los beneficios para la salud humana al implementar los compromisos de cambio climático de Colombia.

6. Sigüientes pasos

Esta evaluación ha demostrado 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 (Sección 2).

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.

Las formas específicas en las que los contaminantes del aire y los CCVC podrían integrarse en los procesos de planificación del cambio climático en Colombia, son:

6.1. Mantener y actualizar los análisis integrados de mitigación del cambio climático y la contaminación del aire

El análisis que se muestra en este informe evalúa de manera integrada los niveles de emisión de CCVC y contaminantes del aire con las medidas de mitigación de GEI. Este análisis podría ser la base para continuar evaluando las medidas y opciones de mitigación a lo largo del tiempo para reducir la contribución de Colombia al cambio climático y mejorar la calidad del aire. En el futuro, la contaminación del aire y las emisiones de CCVC se pueden agregar a los análisis tradicionales de mitigación de GEI realizados para la planificación del cambio climático, incluyendo los factores de emisión para los contaminantes que se deseen evaluar y las medidas de mitigación adicionales con enfoque en mitigación de CCVC y contaminantes criterio. El resultado sería un análisis donde se pueden evaluar las reducciones de emisiones de contaminantes atmosféricos de las acciones de cambio climático y las reducciones de GEI de las acciones de contaminación del aire.

Al garantizar que este tipo de análisis integrado del cambio climático y la contaminación del aire se utilice para la identificación, evaluación y priorización de las acciones de mitigación del cambio climático, se puede garantizar que:

- Las acciones tomadas para mitigar el cambio climático no conducen a aumentos en la contaminación del aire
- Las medidas de mitigación del cambio climático y la reducción de la contaminación del aire estén alineadas entre sí y no entren en conflicto
- Identificar qué acciones adicionales se podrían tomar para maximizar las reducciones tanto en la contaminación del aire como en los gases de efecto invernadero, 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 (IDEAM, 2020).

6.2. Incluir CCVC y contaminantes del aire en las comunicaciones nacionales y los informes bienales

Los informes sobre cambio climático brindan la oportunidad a Colombia de comunicar el progreso que se está logrando en las emisiones de GEI e implementar acciones para cumplir con sus compromisos de cambio climático. La inclusión de contaminantes del aire y CCVC en estos informes proponen una oportunidad para comunicar las emisiones de estos

contaminantes, en conjunto con las emisiones de GEI; además de compartir los procesos y avances de mitigación simultánea de las acciones y medidas que se están implementando en Colombia, las cuales pueden generar múltiples beneficios para la contaminación del aire y el clima.

6.3. Considerar la contaminación del aire en el desarrollo de una estrategia de mitigación del cambio climático a largo plazo

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.

7. Referencias

- ASOCAÑA. (2016). *Reporte de Sostenibilidad del Sector Azucarero Colombiano 2015-2016*.
- ASOCAÑA. (2018). *Aspectos Generales del Sector Agroindustrial de la Caña 2017 - 2018*. Recuperado de <https://www.asocana.org>
- ASOCAÑA. (2020). *Reporte de Sostenibilidad del Sector Azucarero Colombiano 2019-2020*.
- 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.
- Corporación Ambiental Empresarial CAEM. (2015). *Inventario Nacional del Sector Ladrillero Colombiano*. Bogotá D.C.
- Corporación Ambiental Empresarial CAEM. (2020). *Determinación de factores de emisión que servirán como insumo para la herramienta LEAP-IBC*. Bogotá D.C.
- DANE. (2020). *Proyecciones y retroproyecciones de población*.
- DNP. (2018). *Valoración económica de la degradación ambiental en Colombia 2015*. Recuperado de [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Valoración económica de la degradación ambiental.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Valoración%20económica%20de%20la%20degradación%20ambiental.pdf)
- Fedepanela. (2015). *Nota De Información De La Nama (NINO) Reconversión Productiva Y Tecnológica*



- Del Subsector Panelero*. Bogotá D.C. Recuperado de file:///E:/Downloads/NINO PANELA VFINAL.pdf
- 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*.
- Krecl, P., Targino, A. C., Ketzler, 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*. Bogotá D.C. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/estrategia-nacional-de-calidad-del-aire-enca>
- MADS. (2020a). *Estrategia nacional para la mitigación de contaminantes climáticos de vida corta*. Bogotá D.C.
- MADS. (2020b). *Primer Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles de Uso Fuera de Carretera en Colombia*. Bogotá D.C.
- MADS, M. de A. y D. S. (2017). *Inventarios de emisiones atmosféricas*. Recuperado de <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>
- ONF Andina. (2017). *Formulación de la NAMA de reconversión productiva y tecnológica del subsector panelero en Colombia*. Bogotá D.C.



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

UPME. (2019a). Plan Energético Nacional 2020 - 2050. Bogotá.

UPME. (2019b). Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética. Bogotá D.C., Colombia.