



Gestión del carbono negro en Colombia y su incidencia en el cambio climático, la calidad del aire y la salud. Análisis y recomendaciones.

Autores

Paula Andrea Bustos-Castro; Catalina Ceballos-García

Trabajo presentado como requisito para optar por el título de

Magister en Derecho y Gestión Ambiental

Tutor

Samuel David Osorio-García

Modalidad de grado

Artículo de investigación

Facultad de Jurisprudencia

Maestría en Derecho y Gestión Ambiental

Universidad del Rosario

Bogotá, D.C. - Colombia

2022

Gestión del carbono negro en Colombia y su incidencia en el cambio climático, la calidad del aire y la salud. Análisis y recomendaciones.

Paula Andrea Bustos-Castro¹; Catalina Ceballos-García²; Samuel David Osorio-García^{3,4}

RESUMEN

Objetivo. Analizar el contaminante climático de vida corta carbono negro y su incidencia en salud en Bogotá y en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y proponer recomendaciones para su gestión, considerando herramientas nacionales e internacionales.

Métodos. Se empleó un método mixto con enfoques cualitativos y cuantitativos a través de revisión y evaluación de herramientas existentes a nivel nacional e internacional, y del análisis de datos mediante el software AirQ+ de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Resultados. El número estimado de muertes atribuibles a exposición de largo plazo a carbono negro (CN) por cada 100 000 habitantes fue de 95 en el 2020, y de 100 en 2021 en Bogotá, en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) en el 2020 fue de 137 y en el 2021 de 184. A partir de la revisión de las herramientas de gestión, las

¹ Ingeniera Ambiental y Sanitaria. Estudiante de la Maestría en Derecho y Gestión Ambiental, Universidad del Rosario, Bogotá D.C, Colombia. Correos: paulaa.bustos@urosario.edu.co; paula288bc@gmail.com

² Abogada. Estudiante de la Maestría en Derecho y Gestión Ambiental, Universidad del Rosario, Bogotá D.C, Colombia. Correos: catalina.ceballos@urosario.edu.co; catalinaceballos01@gmail.com

³ Médico. Maestro en Ciencias en Salud Pública y Ambiental. Candidato a Doctor en Ciencias en Salud Ambiental por el Instituto Nacional de Salud Pública de México. Docente de la Maestría en Derecho y Gestión Ambiental, Universidad del Rosario. Correos: samuel.osorio@urosario.edu.co, samuelosorio80@gmail.com

⁴ La investigación es resultado del trabajo de grado de la Maestría en Derecho y Gestión Ambiental de la Universidad del Rosario, Bogotá D.C.

recomendaciones propuestas a las áreas de estudio se centran en el mantenimiento preventivo y correctivo del sector transporte, fortalecimiento a los sistemas de monitoreo y de alertas tempranas y atender a la población expuesta a las fuentes de emisión del CN.

Conclusiones: Colombia, aunque ha efectuado grandes esfuerzos, aún está en una fase incipiente de gestión del CN. Con el propósito de disminuir muertes atribuibles en Bogotá y en AMVA se sugiere abordar la problemática desde una visión ecosistémica, es decir, desde los enfoques de salud, cambio climático y contaminación atmosférica.

Palabras clave: Carbono negro, efectos en salud, calidad del aire, contaminante climático de vida corta, gestión ambiental.

Introducción

El carbono negro (CN), contaminante climático de vida corta (CCVC), puede permanecer en la atmósfera un tiempo corto, contribuye a la contaminación del aire y actúa como forzador climático (1). Se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles, madera y biomasa, afectando la calidad del aire y acelerando el cambio climático con un potencial de calentamiento mayor que el CO₂ (2).

Cada año se atribuyen muertes y síntomas a la contaminación del aire, de ahí que los países estimen las muertes y costos evitables en relación con la mitigación de dichos efectos. La OMS calcula que anualmente la exposición a contaminantes atmosféricos causa 7 millones de muertes prematuras y provoca la pérdida de años de vida saludable (3). Para el caso específico de exposición al CN, 150 000 muertes se atribuyen

anualmente y entre el 22 % al 38 % de estas, se generan en países como China e India (4).

Aunque a nivel internacional se han estudiado los efectos en salud por exposición a largo plazo a partículas como CN (5, 6), en Colombia se carece de este tipo de investigaciones. Adicionalmente, en temas de política pública, en el país no se tienen herramientas puntuales de gestión ambiental que de manera integral aborden el CN (7).

México y Chile han emprendido acciones a través de estrategias de mitigación para gestionar, de manera articulada, el CN en calidad del aire y cambio climático, o en general a los CCVC; esto a su vez como parte del cumplimiento del Acuerdo de París y de sus contribuciones nacionales determinadas (NDC).

Conforme a lo anterior, esta investigación aborda al CN y analiza su incidencia en salud y gestión en Bogotá y en el AMVA a través del análisis de datos y la evaluación de herramientas existentes a nivel nacional y de orden internacional disponibles en México y Chile, pertinentes para proponer recomendaciones de gestión en el país.

Materiales y métodos

Esta investigación aplica un método mixto, que emplea enfoques cuantitativos y cualitativos. Se revisaron herramientas de gestión sobre cambio climático, contaminación atmosférica y salud en México, Chile y Colombia, y zonas nacionales como Bogotá y el AMVA dentro del periodo comprendido entre 2010 a 2022, identificando objetivos, programas, estrategias y metas, enfocadas en CN, PM_{2.5} y CCVC. Se realizó la revisión de artículos de revisión e investigaciones originales en buscadores académicos empleando palabras clave como CN, CCVC, contaminación atmosférica, salud

ambiental, muertes atribuibles por exposición, en la serie 2015 al 2022. Adicionalmente se obtuvo información relacionada con concentración del CN, proyección poblacional, datos de mortalidad, políticas, entre otros, a través de solicitudes con alcance a autoridades ambientales y de salud.

Se empleó el software AirQ+ V.2.1.1 de la OMS, que calcula la magnitud de efectos sobre la salud asociados a la exposición a contaminantes atmosféricos como PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, CN (8, 9). En el caso del CN, los efectos se reflejan en la mortalidad por exposición a largo plazo. Para el cálculo se usaron datos anuales de concentración promedio, número de población expuesta y número de muertes por todas las causas. El software emplea la función log-lineal para calcular el riesgo relativo (RR) con la siguiente ecuación:

$$RR = \exp[\beta \ln(X - X_o)]$$

Donde β es un coeficiente con intervalos de confianza (IC del 95 %); X es la concentración del contaminante; X_o es la concentración de comparación.

Una vez calculado el RR, se estima la proporción atribuible (PA), la cual es la fracción de muertes atribuidas a la exposición a largo plazo a BC, en una población y año específico, mediante la siguiente ecuación:

$$PA = \frac{\{RR(c) - 1\} \times p(c)}{\{RR(c) \times p(c)\}}$$

Donde RR(c) es el riesgo relativo de muerte por todas las causas naturales para una exposición (c), y p(c) es la proporción de la población en la categoría de exposición (c).

Finalmente, se plantearon una serie de recomendaciones basadas en la revisión de literatura y los resultados obtenidos del software enfocadas en la gestión del CN a partir de las fuentes de emisión principales y la estimación de la mortalidad por exposición a largo plazo (anual) a CN en Bogotá y el AMVA para 2020 y 2021.

Resultados

México, Chile y Colombia

En Colombia, según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), en el 2015, cerca de 8 000 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades estarían relacionadas con la contaminación del aire ambiente (10). En 2016, 17 549 muertes se atribuyeron a factores de riesgo ambiental, de las cuales 15 681 se asociaron a la contaminación del aire (11). Si se cumplen los niveles recomendados por la OMS para PM_{2.5}, en Chile para el año 2016, se habrían evitado 4 590 muertes (12), mientras que para ese mismo año en México podrían haberse evitado 9 767 muertes (13).

De acuerdo con estos tres países, los niveles de inmisión establecidos en su legislación interna, adoptada por las autoridades ambientales y sanitarias, son menos estrictos que los parámetros de la OMS (14 - 16). Es de resaltar que en la normativa de calidad del aire no hacen alusión a niveles máximos permisibles asociados a CN, solo en Colombia recomiendan monitorear las concentraciones de este contaminante con el fin de conocer fuentes de emisión, realizar investigaciones en salud ambiental y sus efectos sobre el clima.

De conformidad con los acuerdos internacionales suscritos en materia de cambio climático, se actualizaron los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

(GEI) y otros contaminantes climáticos. Estos inventarios incluyen las emisiones de CN. En Chile se emitieron 15 300 toneladas en el año 2018. Las principales fuentes de emisión de este contaminante se categorizan en el sector energía producto de la quema de combustibles fósiles y biocombustibles. En México se contabilizó un total de 65 582 toneladas emitidas en el año 2019. Las principales fuentes de emisión devienen del uso de combustible diésel, la quema de leña en los hogares, uso de combustibles fósiles en la generación energía eléctrica y a la quema de biomasa. En Colombia, las emisiones históricas promedio de CN son 27 090 toneladas, para el año 2018 específicamente se estimaron en 28 000 toneladas de CN. Las principales fuentes de emisión se reportan en los sectores energía (quema de combustibles) y residuos (incineración) (17 - 19).

Colombia cuenta con dos herramientas de gestión que hacen alusión al CN. La primera de ellas es la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta, comprende metas de gestión a 2022 y 2030 que parte desde la integración del primer inventario de emisiones de CN al inventario nacional, hasta el fortalecimiento de las autoridades en cuantificación de beneficios múltiples, hasta la integración del CN en los sistemas de registro y reducción de emisiones. Pese a estos adelantos, en ese momento no se fijó una meta de reducción de emisiones de CN por falta de estudios y resultados del inventario (7).

La NDC de Colombia (20) es una de las herramientas de gestión que considera que las acciones de mitigación de los GEI presentan cobeneficios en materia de salud, derivados de una mejor calidad del aire. Esta NDC contempla tres acciones específicas para la reducción del CN que devienen de la mitigación de emisiones de GEI, estas son:

Sustitución de fogones en leña, mejoras en la industria ladrillera y medidas asociadas al sector transporte, como la sustitución de vehículos con motores diésel.

Chile incluye el CN en su Estrategia Climática de Largo Plazo (21), en esta presenta cuatro instrumentos de control de emisiones: planes de descontaminación atmosférica, nuevas normativas en el sector transporte, inventario nacional de CN y mediciones de CN. Adicionalmente, a largo plazo la estrategia incluye la generación de conocimiento a nivel nacional y la gestión de fuentes puntuales. Sobre estas apuestas se destaca que, aunque el país cuenta con equipos de medición de concentraciones de CN no se están analizando de manera eficaz sus resultados.

De igual manera, Chile presenta un informe denominado Mitigación de CN en la actualización de la NDC de Chile con base al inventario nacional. En este informe, se evaluaron tres escenarios de mitigación, los cuales fueron a) Políticas actuales; b) carbono neutralidad y c) carbono neutralidad + (22). En la estrategia carbono neutralidad + se establecen dos medidas específicas con el fin de reducir las emisiones de CN, la primera se denomina calefacción distrital, la cual contempla un cambio en el modo de la calefacción tradicional dedicada a leña a un sistema de calefacción tecnificado, generando una reducción tanto en material particulado como en CN que incide en la calidad del aire interior y ambiente; la segunda, es la implementación de una nueva normativa en materia de emisiones atmosféricas, más estricta, para maquinaria fuera de ruta de menos de 560 kW de potencia, dado que, esta se emplea en la construcción que se desarrolla principalmente en zonas urbanas.

En la Estrategia Nacional de Cambio Climático de México (23) existen 19 líneas de acción para reducir emisiones de CCVC y propiciar beneficios en salud, 3 de ellas tienen relación

con CN. Estas incluyen: Sustitución de fogones abiertos, incentivar el uso de tecnologías y combustibles que disminuyan CN y la reducción de emisiones en la industria través del cambio de combustibles y sistemas de control de emisiones y eficiencia energética.

En México existe otro instrumento de gestión ambiental en materia de calidad del aire denominado Programa para Mejorar la Calidad del Aire (PROAIRE) (24), el cual es importante destacar. Este documento de planeación introduce un enfoque ecosistémico, en el cual incluye variables y procesos urbanos, de transporte, económicos y sociales y los asocia con los procesos de emisión de contaminantes criterio, tóxicos y de efecto invernadero. El instrumento incluye el tema salud como un foco estratégico que direcciona las acciones tomadas en materia de mejoramiento de la calidad del aire. En México existen actualmente 31 PROAIRE vigentes que cubren la población de 28 Entidades Federativas y se proyecta desde el 2021 hasta el 2022.

Finalmente, Chile, México y Colombia hacen parte de la Coalición por el Aire Limpio y el Clima y se encuentra las iniciativas SNAP “Soporte para la planeación nacional de acciones” asociación internacional de carácter voluntario donde sus partes procuran la reducción de los CCVC (25).

Bogotá y Área Metropolitana del Valle de Aburrá

En Bogotá, de acuerdo con el Inventario de Emisiones Atmosféricas del 2020, las principales fuentes de emisión de CN son las fuentes móviles en un 98 % y las fuentes fijas industriales en un 2 %, respectivamente, emitiendo un total de 683 ton/año (26). La red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá cuenta con 20 estaciones de las cuales solo 8 monitorean CN, presentando una concentración promedio anual de 3,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y

en términos de mortalidad, para 2015, el DNP actualizó el estudio que presenta los costos por muertes y enfermedades asociadas a la degradación ambiental en Colombia, reportando que 3 210 muertes del total que se presentan en Bogotá son atribuidas a la contaminación del aire (10).

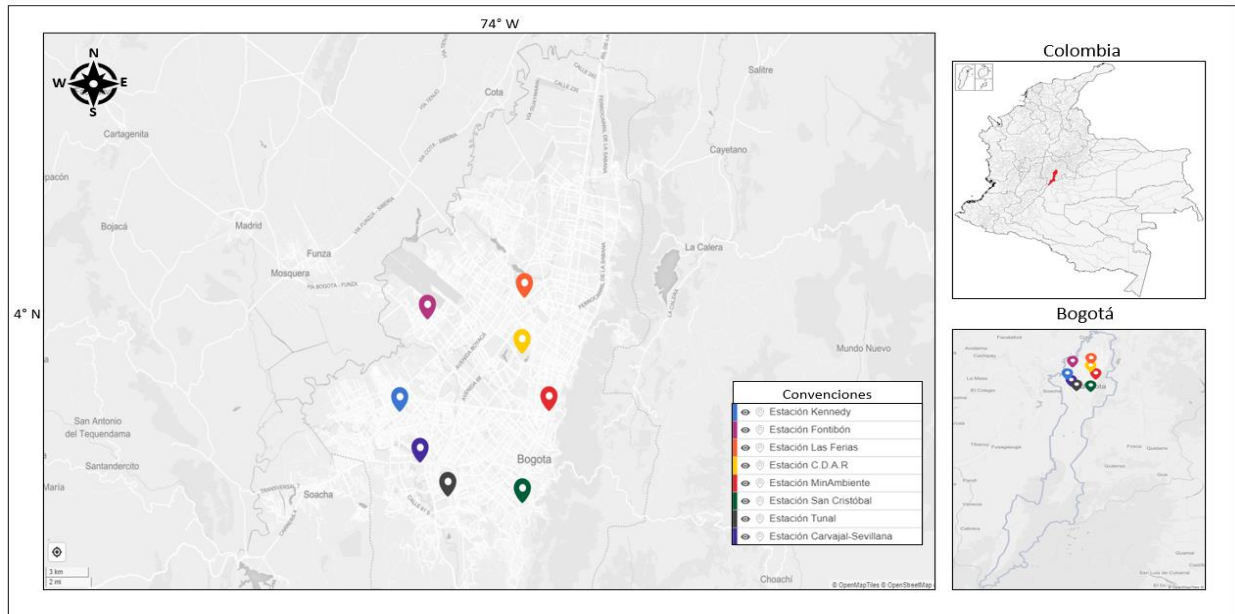
La ciudad, dentro de su Plan de Acción Climática 2020 – 2050 (27), contempla acciones y metas de mitigación y adaptación al cambio climático, enfocadas principalmente a las emisiones de GEI, no obstante, aunque no hay alguna relacionada con el CN, por la fuente de emisión, se resaltan tres que inciden indirectamente en la gestión de este contaminante climático, las dos primeras relacionadas con el transporte particular, público y de carga en cuanto a reconversión tecnológica y transición a combustibles no fósiles, y la tercera a la gestión del riesgo por incendios forestales, con resultados esperados para 2024, 2030 y 2050.

En temas de calidad del aire, el Plan Estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá 2030 (28), contiene cinco objetivos específicos enfocados en el cumplimiento de la norma nacional y las directrices de la OMS, de los cuales el objetivo tres se enmarca en el fortalecimiento de la capacidad de medición y reporte de la red de monitoreo para el desarrollo, aplicación y transferencia del conocimiento de la información relacionada con la contaminación atmosférica, entre los que se contempla al CN, para que a 2030 la red de monitoreo tenga la capacidad para monitorearlo y reportarlo, así como contar con una línea base del comportamiento de este contaminante con el objetivo de tomar decisiones para un seguimiento y control efectivo.

De igual manera, la ciudad cuenta con una Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C. 2011 – 2023 (29), la cual menciona dos estrategias necesarias que se

relacionan con la calidad del aire de manera general, la primera denominada fortalecimiento de la gestión de la salud ambiental centrada principalmente en la capacidad y trabajo interinstitucional de entidades que inciden en factores ambientales y sociales, y la segunda es la vigilancia de la salud ambiental, en la que a partir del Sistema Unificado Distrital de Inspección, Vigilancia y Control de Bogotá Distrito Capital -SUIVC, se fortalezcan los procesos de vigilancia en salud ambiental, específicamente en cuanto al monitoreo y control permanente a diferentes factores de deterioro ambiental.

IMAGEN 1. Ubicación geográfica de Bogotá y de las estaciones que monitorean carbono negro.



Fuente: autores.

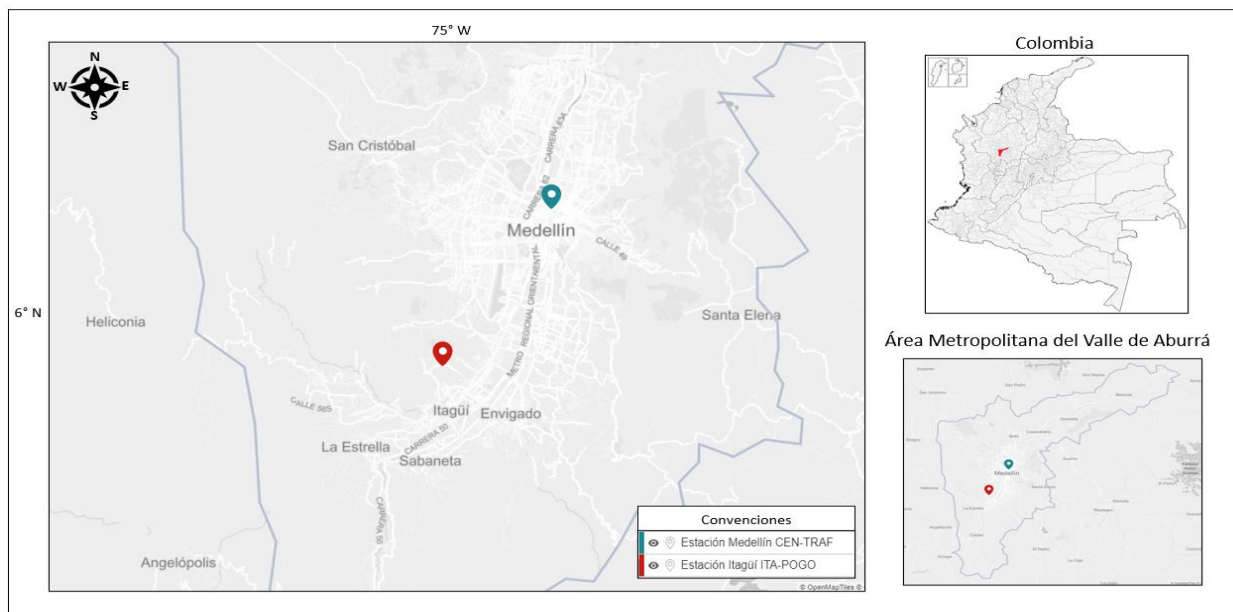
El Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA está conformada por 10 municipios, siendo estos Barbosa, Copacabana, Girardota, Bello, Medellín, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas, en donde las principales fuentes de emisión de CN son las fuentes móviles en un 97% y las fuentes fijas en un 3%, respectivamente, emitiendo un total de 812 ton/año para el 2016 (30). La red de monitoreo de calidad del aire de

AMVA cuenta con 43 estaciones de las cuales solo 2 monitorean CN, presentando una concentración promedio anual de $5,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y en términos de mortalidad según el DNP para 2015, 2 105 del total de las muertes que se presentan en el área, son atribuidas a la contaminación atmosférica (10).

El Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire para AMVA (PIGECA 2017-2030) (31) busca mejorar la calidad del aire para proteger la salud y el ambiente a través de diez objetivos específicos relacionados con la movilidad sostenible, reconversión tecnológica para fuentes fijas, el fortalecimiento de la capacidad institucional, entre otros, los cuales plantean una serie de metas relacionadas con la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos, entre estas que, con la reducción de emisiones de $\text{PM}_{2.5}$ se reducirían las emisiones de CN, cumpliendo para 2030 las directrices de la OMS 2021 en cuanto a $\text{PM}_{2.5}$, y específicamente para CN, mediante una serie de estrategias para el transporte de carga relacionadas con cambios en combustible, en tecnología y restricciones o corredores preferenciales, se espera que se reduzcan las emisiones.

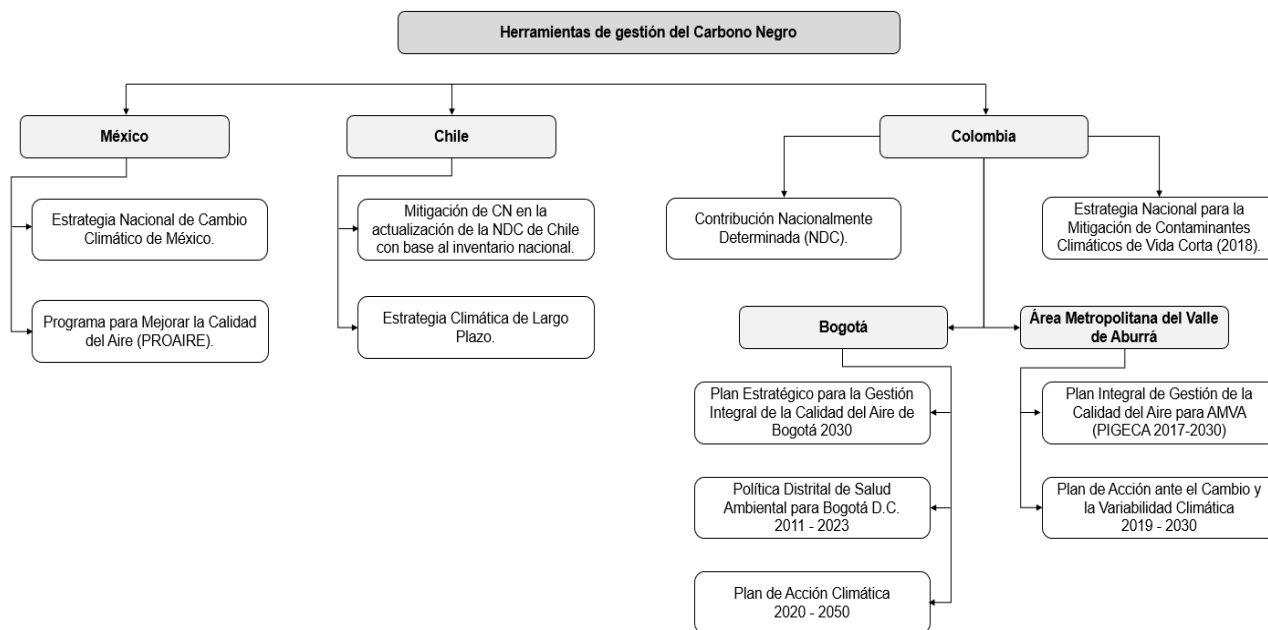
Así mismo, el área cuenta con el Plan de Acción ante el Cambio y la Variabilidad Climática 2019 – 2030 (32), en el que presenta acciones y metas de mitigación y adaptación al cambio climático, muy similares a las del PIGECA y ninguna relacionada al CN, sin embargo, se destaca que dentro del Plan, se establecen medidas a mediano plazo para el fortalecimiento de las instituciones de salud para atender cualquier evento relacionado o que derive del cambio climático y la necesidad de monitorear y reportar parámetros de la atmósfera, ya sean contaminantes o factores meteorológicos.

IMAGEN 2. Ubicación geográfica del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y de las estaciones que monitorean carbono negro.



Fuente: autores.

FIGURA 1. Herramientas de Gestión del Carbono Negro en México, Chile y Colombia.



Fuente: autores.

Análisis cuantitativo de impactos en salud

Con la información obtenida de las dos áreas objeto de estudio, mediante el software AirQ+ se estimó la mortalidad por exposición a largo plazo a CN para los años 2020 y 2021.

En la Tabla 1, se presentan los resultados obtenidos en AirQ+, teniendo en cuenta la proporción atribuible estimada, se evidenció que en los años objeto de estudio, aproximadamente entre el 20 al 35 % de las muertes se atribuyen a la exposición a largo plazo a CN, siendo significativa para AMVA en el 2021 con 32,44 % de la proporción atribuible. De igual manera, cada año se ve un aumento gradual de la concentración de CN, siendo mayor para AMVA que para Bogotá, lo que incide en el número de casos atribuibles por cada 100 000 habitantes en riesgo, aumentando en 5 casos para Bogotá y 47 para AMVA, respectivamente, considerando que la población de Bogotá es aproximadamente dos veces la de AMVA.

Tabla 1. Estimación de mortalidad por exposición a largo plazo a carbono negro en Bogotá y Área Metropolitana del Valle de Aburra para 2020 y 2021.

Lugar	Año	Población	Número de muertes por causas naturales	Carbono negro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Riesgo relativo			Proporción atribuible (%)			Número de casos atribuibles			Número de casos atribuibles por cada 100 000 habitantes en riesgo		
					B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
Bogotá	2020	7 743 955	36 318	3,90	1,2	1,3	1,4	14,18	20,33	28,54	5 151	7 383	10 367	67	95	134
	2021	7 834 167	37 779	4,00	1,2	1,3	1,4	14,52	20,79	29,16	5 484	7 854	11 015	70	100	141
Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2020	4 055 296	21 406	5,15	1,2	1,3	1,6	18,29	25,92	35,84	3 915	5 549	7 672	97	137	189
	2021	4 119 008	23 330	6,73	1,3	1,5	1,8	23,20	32,44	44,01	5 412	7 568	10 267	131	184	249

B: Bajo; M: Medio; A: Alto

Fuente: elaboración por autores con base a los resultados obtenidos en AirQ+.

Discusión

En un estudio sobre la mortalidad relacionada con enfermedades cardiorrespiratorias como resultado de la exposición al CN en Teherán, Irán, en el escenario planteado cuando los vehículos pesados pueden circular por la ciudad en la noche, el número de casos atribuibles por cada 100 000 habitantes en riesgo es de 28 (33). Si bien Bogotá tiene una población similar a la de Teherán, el número de habitantes en riesgo es menor siendo casi la tercera de la de Bogotá. Por el contrario, en el AMVA aunque el número de habitantes es menor, el riesgo es mayor en comparación con las ciudades anteriormente mencionadas.

En cuanto al riesgo relativo, (34) determina el impacto en la salud por exposición a PM_{10} , $PM_{2.5}$ y CN en tres lugares de Suecia, en el que el riesgo relativo por exposición a CN fue del 60 %, 62 % y 70 %, comparando con el estudio de (6), en el que el riesgo relativo para CN es de 60 % (10-110 %) con (IC 95 %), es decir, que por cada $10 \mu g/m^3$ hay un aumento del 60 % de las muertes por todas las causas, al comparar estos datos con los obtenidos en Bogotá y AMVA, tienen una magnitud mayor. No obstante, el AMVA es el que más se aproxima al riesgo relativo.

Como consecuencia de lo anterior, es necesario revisar a detalle en AMVA el comportamiento del contaminante, sus efectos y las estrategias de gestión, ya que la población es menor en comparación a Bogotá, pero el número de casos es mayor, es decir, la mortalidad de su población se está viendo más afectada por la presencia de CN.

Ahora bien, frente a este escenario de mortalidad atribuible a CN es necesario analizar en contexto las herramientas que tienen la ciudad y el área metropolitana para atender

a la población. Ambas centran parte de sus objetivos, programas y metas a la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos, desde los enfoques de calidad del aire, cambio climático y salud, siendo comunes las estrategias para la movilidad e industria sostenible, en cuanto a la implementación gradual de vehículos cero o bajos en emisiones y la reconversión tecnológica, no obstante, de las herramientas analizadas, solo dos contemplan medidas de gestión específicas para CN. La primera es la de Bogotá enfocada al fortalecimiento del monitoreo y reporte de este contaminante para la toma de decisiones, y la segunda la de AMVA, sobre el control al transporte de carga y su incidencia en la reducción de emisiones.

Respecto de las medidas tomadas por Bogotá y el AMVA en relación con Colombia, se puede evidenciar que corresponde a los lineamientos generales que en materia de gestión del CN ha promovido en sus herramientas. En ambos escenarios (regional y nacional) son pocas las medidas específicas que abordan el CN, pues las mismas devienen de las planteadas para la reducción del $PM_{2.5}$. Si bien (7) destaca que esta es una estrategia favorable, en tanto la reducción de $PM_{2.5}$ impacta al CN, en (19) se afirma que las emisiones de uno y otro muestran comportamientos diferentes, principalmente influenciados por el uso de combustibles. En consecuencia, se podría obtener un mayor beneficio de estrategias específicas para CN, teniendo en cuenta, que el impacto en la salud por este contaminante es mayor que el del $PM_{2.5}$ por sus riesgos (19).

Aunado a lo anterior, debe indicarse que además de los esfuerzos que se realizan en Colombia para dar cumplimiento a los compromisos internacionales, no existe hasta la fecha un instrumento de obligatorio cumplimiento que indique un límite máximo permisible en relación con el CN. De igual manera, la recopilación de los datos sobre

este contaminante es potestad de las autoridades ambientales. Asimismo, aunque el país cuenta con el Subsistema de Información Sobre Calidad del Aire (SISAIRE) no tiene datos relevantes al respecto.

Ahora bien, Colombia se encuentra muy cerca de México y Chile en relación con las estrategias y herramientas debido a los compromisos internacionales en materia de cambio climático. De igual manera se encuentran en estados similares de información en la que reportan sus inventarios de emisiones GEI actualizados y replican la idea de que, al disminuir el $PM_{2.5}$ también lo hará el CN. De México se destacan los PROAIRE como una de las herramientas más integrales que gestionan el CN. Lo anterior, por su enfoque ecosistémico y la integración de los sectores ambiente y salud.

Recomendaciones

1. Desarrollar una política pública de mantenimiento preventivo y correctivo para todo el transporte que funcione a diésel a mediano plazo, generando alianzas entre concesionarios o talleres autorizados y propietarios para que el mantenimiento se realice de manera óptima y con costos razonables.
2. Incluir dentro de los planes de gestión a la población expuesta a las fuentes de emisión de CN para que las medidas sean pertinentes y enfocadas a la atención y prevención en temas de salud. Para determinar los impactos en salud, las autoridades pueden hacer uso de herramientas como el AirQ+.
3. Fortalecer los sistemas de monitoreo de calidad del aire y de alertas tempranas que reporten las emisiones de CN en tiempo real tanto de fuentes antrópicas y naturales que permitan a las autoridades ambientales, de salud y de gestión del riesgo la toma de decisiones oportunas.

4. Para lograr una gestión integral del CN, se requiere que las autoridades planteen metas, planes, objetivos enfocados directamente en este y no derivados de la gestión del PM_{2.5}.

Conclusiones

La gestión del CN en Colombia se encuentra, en un momento incipiente. Existen inventarios con información incompleta y las metas a corto y largo plazo son pocas, de hecho, de esta investigación se concluye que los países procuran la reducción de sus niveles de CN a través de acciones enfocadas en el PM_{2.5} o a través de la mitigación de los GEI. Las herramientas no abordan de manera integral el contaminante, lo cual quiere decir que no tienen un enfoque ecosistémico que articule los tres ejes que impacta, a saber: salud, cambio climático y contaminación atmosférica. Los programas PROAIRE pueden ser uno de los referentes para abordar la problemática desde esta visión compleja.

Finalmente, es necesario instar a los Estados y a los gobiernos locales, a través de organismos internacionales, a fortalecer las redes de monitoreo de concentraciones de CN e implementar sistemas de vigilancia de impactos en salud, para el desarrollo, aplicación y transferencia del conocimiento de la información, con el fin de soportar investigaciones en salud ambiental y sus efectos sobre el clima que beneficien a la población expuesta, como parte de sus estrategias de gestión.

Contribución de los autores. Todos los autores contribuyeron a la interpretación, redacción de los resultados y discusión, y también revisaron y aprobaron la versión final.

Conflictos de intereses. Ninguno declarado por los autores.

Declaración. Las opiniones expresadas en este manuscrito son responsabilidad del autor y no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la RPSP/PAJPH y/o de la OPS.

REFERENCIAS

1. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC [Internet]. Cambio climático 2013 Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes. c2013 [cited 2022 Nov 14] Available from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf
2. Haines A, Ebi K. The Imperative for Climate Action to Protect Health. *New England Journal of Medicine*. 2019; 380(3), 263-273. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1807873>
3. Organización Mundial de la Salud [Internet]. Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. c2021 [cited 2022 Dec 14]. Available from: <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
4. Chowdhury S, Pozzer A, Haines A, Klingmüller K, Münzel T, Paasonen P, et al. Global health burden of ambient PM2.5 and the contribution of anthropogenic black carbon and organic aerosols. *Environment International*. 2022; 159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107020>
5. Yang Y, Zengliang R, Xiaojie W, Yin Y, Tonia G M, Hualiang L, & Linwei, T. Short-term and long-term exposures to fine particulate matter constituents and health: A

systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*. 2018; 247, 874-882.
doi: 10.1016/j.envpol.2018.12.060.

6. Janssen N, Hoek G, Simic-Lawson M, Fischer P, Van Bree L, Ten Brink H, Keuken M, Atkinson R, Anderson H, Brunekreef B, Cassee F, et al. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environmental Health Perspectives*. 2011; 119(12), 1691-1699.
<https://doi.org/10.1289/ehp.1003369>
7. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Estrategia nacional para la mitigación de contaminantes climáticos de vida corta. 1st ed. Bogotá, D.C.: MADS; 2019.
8. Kliengchuay W, Srimanus W, Srimanus R, Kiangkoo N, Moonsri K, Niampradit S, Suwanmanee S, Tantrakarnapa K, et al. The association of meteorological parameters and AirQ+ health risk assessment of PM2.5 in Ratchaburi province, Thailand. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1), 1-8. DOI: 10.1038/s41598-022-17087-1
9. Ansari M, Ehrampoush M. Meteorological correlates and AirQ+ health risk assessment of ambient fine particulate matter in Tehran, Iran. *Environmental Research*. 2019; 141-150.
10. Departamento Nacional de Planeación [Internet]. Bogotá: Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones. c2017 [cited 2022 Nov 14]. Available from: [https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones-.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx)

11. Instituto Nacional de Salud. Observatorio Nacional de Salud. Carga de enfermedad ambiental en Colombia. Décimo Informe Técnico Especial, 10th ed. Bogotá, D.C.: INS; 2018. ISSN: 2346-3325
12. Huneus N, Urquiza A, Gayó E, Osses M, Arriagada R, Valdés M, et al [Internet]. Resumen para tomadores de decisiones. El aire que respiramos: pasado, presente y futuro – Contaminación atmosférica por MP2,5 en el centro y sur de Chile. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. 2020; (ANID/FONDAP/15110009) 16 pp. [cited 2022 Nov 14]. Available from: www.cr2.cl/contaminacion/
13. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Salud Pública de México “Estimación de los impactos en la salud por contaminación atmosférica en la región centro del país¹ y alternativas de gestión”. 1st ed. México: SEMARNAT, INECC; 2016.
14. Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP 2,5. Decreto N°12 de 2011. Chile (09 de mayo de 2011).
15. Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Norma Oficial Indígena 025 de 2021 (27 de octubre de 2021).
16. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan disposiciones. Resolución N° 2254 de 2017. Colombia (01 de noviembre de 2017).
17. Gobierno de Chile. Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático. 1st ed. Chile: Gobierno de Chile; 2020.

18. Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México: Tercer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 1st ed. México: Gobierno de México, SEMARNAT; 2022.
19. IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA. Tercer Informe Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). 1st ed. Bogotá, D.C.: IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA; 2021.
20. Gobierno de Colombia. Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC) 2020. 1st ed. Colombia: Gobierno de Colombia; 2020.
21. Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente. Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile. Camino a la carbono neutralidad y resiliencia a más tardar al 2050. 1st ed. Chile: Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente; 2021.
22. Gallardo L, Basoa K, Tolvett S, Osses M, Huneus N, Bustos S, et al, editors. Mitigación de carbono negro en la actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada de Chile: Informe extendido y anexos. 1st ed. Chile: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia; 2020.
23. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estrategia Nacional de Cambio Climático de México. Visión 10-20-40. Gobierno de la República. 1st Ed. México, D.F: SEMARNAT; 2013.
24. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Internet]. Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire -PROAIRE. c2022 [cited 2022 Nov 14].

Available from: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire>

25. Climate & Clean Air Coalition to reduce short-lived climate pollutants [Internet]. SNAP regional workshops. c2012 cited 2022 Nov 14]. Available from: <https://www.ccacoalition.org/en/activity/snap-regional-workshops>
26. Secretaría Distrital de Ambiente. Inventario de emisiones de Bogotá, contaminantes atmosféricos 2020. 1st ed. Bogotá: SDA; 2021.
27. Secretaría Distrital de Ambiente. Plan de Acción Climática Bogotá 2020 - 2050. 1st ed. Bogotá: SDA; 2020.
28. Secretaría Distrital de Ambiente. Plan Estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá 2030. 1st ed. Bogotá: SDA; 2021.
29. Alcaldía Mayor de Bogotá. Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C. 2011- 2023. 1st ed. Bogotá: Alcaldía de Bogotá; 2011.
30. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Universidad Pontificia Bolivariana. Inventario y Dispersión de Black Carbon del Valle de Aburrá. 1st ed. Medellín: AMVA; 2017.
31. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Clean Air Institute. Universidad Pontificia Bolivariana. Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (PIGECA 2017-2030). 1st ed. Washington, D.C.: AMVA; 2017.
32. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Informe de formulación del Plan de Acción ante el Cambio y la Variabilidad Climática del Área Metropolitana del Valle de Aburrá – 2019-2030. 1st ed. Medellín: AMVA; 2019.

33. Farzad K, Khorsandi B, Khorsandi M, Bouamrac O, Maknoona R. A study of cardiorespiratory related mortality as a result of exposure to black carbon. *Science of the Total Environment*. 2020; 725; 138422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138422>
34. Segersson D, Eneroth K, Gidhagen L, Johansson C, Omstedt G, Engström Nylén A, et al. Health Impact of PM10, PM2.5 and Black Carbon Exposure Due to Different Source Sectors in Stockholm, Gothenburg and Umea, Sweden. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2017; 14, 742. doi:10.3390/ijerph14070742