

PLAN DECENAL DE DESCONTAMINACIÓN DEL AIRE DE BOGOTÁ

(Política Distrital para el Mejoramiento de la Calidad del Aire)

Resumen Ejecutivo

Preparado para

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
(Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual)

Transmilenio S.A.

Investigador Principal

Eduardo Behrentz, Ph.D.

Co- Investigadores

Juan M. Benavides, Juan P. Bocarejo, Margarita Canal, Mónica Espinosa,
Natalia Franco, Ivan D. Lobo, Oscar A. Pardo, Mauricio Sánchez

Investigadores Colaboradores

Lida M. Avila, Juan J. Castillo, María F. Cely, Juan F. Franco, Juan C.F. Márquez,
Diana C. Obando, Juan P. Orjuela, Angélica M. Rodríguez, Alba M. Ruiz, Edgar A. Virgüez

Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional

Facultad de Ingeniería
Universidad de los Andes
Bogotá, Colombia

Noviembre de 2010

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Las afirmaciones y conclusiones que se presentan en este documento son el producto del trabajo y la reflexión del contratista y no necesariamente corresponden a la opinión de las entidades financiadoras: la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá y Transmilenio S.A. La mención o el uso de productos comerciales o de empresas que se utilizaron para tener acceso a los mismos no deben ser entendidos como un aval o una recomendación de uso por parte de la Universidad de los Andes.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo no hubiese sido posible sin el liderazgo ejercido por directivos y funcionarios de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá y Transmilenio S.A, en cabeza de los doctores Juan Antonio Nieto y Fernando Páez. Otros directivos esenciales para lograr el producto objeto de este documento incluyen a Fernando Rojas, Edgar Erazo, Mario Valbuena, Edgar Gutiérrez, y Fernando Molano.

Asimismo, se reconoce la labor realizada por el equipo de interventoría conformado por Adriana Saboyá, Gregorio Rodríguez, Adriana Berbesí, Freddy Vargas, Ernesto Romero, y Deysi Rodríguez.

Se agradecen también las contribuciones realizadas por Andrés Medaglia, Jorge Seffair, Arthur M. Winer, Nancy Sánchez, Magdalena Fandiño y Laura C. Pinilla.

ASPECTOS GENERALES

Este documento constituye el Resumen Ejecutivo del Informe Final del Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá, como parte del estudio que se desarrolló en el marco del Contrato de Ciencia y Tecnología Número 1040 de 2008; celebrado entre la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Transmilenio S.A. (TMSA) y la Universidad de los Andes.

En este reporte se presentan de forma resumida los principios, políticas y estrategias en las que se encuentra enmarcada la política en referencia. Los detalles técnicos complementarios a este documento se encuentran documentados en las partes A, B, C y anexos complementarios. La Parte A representa el reporte final del trabajo realizado. En la Parte B se presenta la metodología y resultados detallados en relación con la actualización del inventario de emisiones para fuentes fijas y móviles, la proyección de las emisiones, el análisis de las medidas propuestas para fuentes industriales y vehiculares, el ejercicio de optimización, el análisis de los efectos en salud y los indicadores de la calidad del aire propuestos para el seguimiento del plan. En la Parte C se presenta el resultado del ejercicio de política participativa que hizo parte de este proyecto.

1. Introducción

Las condiciones del aire que se respira es un aspecto esencial para la calidad de vida de los millones de personas que habitan en Bogotá y otros grandes centros urbanos del país. De esta forma, es fundamental que las autoridades con jurisdicción en estos temas tomen las acciones que sean necesarias para garantizar una calidad ambiental apropiada en lo que se refiere a este recurso.

La meta central de este trabajo y de la política pública que se deriva del mismo es contar con elementos objetivos y balanceados en lo que se refiere al diagnóstico del problema de contaminación del aire y sus causas así como la costo-efectividad de las medidas/proyectos que se sugieren para su solución. Todo esto enmarcado en una perspectiva integral y multidisciplinaria que permita soluciones incluyentes y eficientes.

Uno de los desafíos más importantes en estos temas tiene que ver con la capacidad de fiscalización y de comando y control por parte de las autoridades locales. Por esta razón, este documento pretende ser la hoja de ruta para la gestión relacionada con la calidad del aire en la ciudad de tal forma que los funcionarios de las diferentes administraciones que estarán a cargo de su ejecución cuenten con un derrotero que guíe sus acciones y que les permita contar con un sustento técnico y económico para las decisiones que les sea menester adoptar.

Todas las medidas/proyectos que se sugieren como parte del plan decenal de descontaminación se derivan de análisis técnicos y de recopilación de información para las condiciones específicas de Bogotá. Esto se destaca dado el precepto de que un buen conocimiento científico y una buena selección de herramientas tecnológicas y regulatorias es la base de toda política pública que pretenda ser exitosa. Al mismo tiempo, sin embargo, es necesario reconocer que sin el concierto de los diferentes sectores involucrados así como en ausencia de un verdadero respaldo y compromiso político, no habrá forma de alcanzar éxito en estos programas. Por esta razón, durante el desarrollo del proyecto se otorgó gran énfasis a los procesos de concertación y política participativa.

Como resultado de las reflexiones y el conocimiento que se tiene sobre estos temas, se llega a la recomendación general que indica que los proyectos encaminados a la descontaminación de la ciudad deben mezclar medidas de corto, mediano y largo plazo y que la integralidad y la inclusión en la planeación y ejecución de las mismas serán requisitos fundamentales para el buen desarrollo del plan.

Durante los últimos años, la administración distrital de Bogotá ha realizado sendos esfuerzos e inversiones para mejorar la calidad del aire en la ciudad. Si bien dichos esfuerzos se han materializado en logros importantes tales como los bajos niveles de monóxido de carbono y óxidos de azufre que se perciben en la atmósfera así como el rompimiento de la tendencia incremental de las concentraciones de material particulado, son muchos los desafíos que enfrenta la ciudad en su futuro cercano dadas sus expectativas de crecimiento económico (con el consecuente incremento en demanda de energía y en el consumo de combustibles fósiles) y las altas tasas de motorización que se verán relacionadas con las mismas.

Para hacer frente a dichos desafíos, que incluyen la continuidad de elevados niveles de exposición a material particulado y ozono por parte de la población, será necesario continuar, fortalecer y ampliar los programas integrales de reducción de la contaminación, incluyendo, entre otros, mejoras en la dotación y operación de la red de calidad del aire así como en el manejo de la información producida por ésta; fortalecimiento de programas de verificación de emisiones por parte de las fuentes vehiculares e industriales, incentivos para el uso masivo de gas natural en la industria e incentivos para la modernización de la flota vehicular tanto de uso privado como de servicio público.

Diversas y numerosas estrategias y programas pueden diseñarse para la resolución de estos problemas pero debe hacerse claridad en la no existencia de "soluciones mágicas" que logren ser 100% efectivas en la reducción de la contaminación. Por el contrario, las medidas/proyectos incluidos en el plan de descontaminación del aire de Bogotá, si bien llevarán a un cumplimiento de las metas de calidad del aire que se derivan de la normativa nacional vigente, representan un largo y complejo proceso en donde se lograrán reducciones progresivas en los niveles de descontaminación (en un horizonte de 10 años) requiriendo

importantes inversiones por parte de la sociedad bogotana y una muy cuidadosa y efectiva gestión y acompañamiento por parte de la autoridad ambiental distrital. Todo esto en el marco de una colaboración intersectorial en donde serán llamadas a participar diferentes entidades y sectores del gobierno distrital en articulación con entes del gobierno nacional.

La construcción de la política pública de calidad del aire que se presenta en este documento requirió el concierto de expertos en temas de medio ambiente y salud, economistas, expertos en regulación, expertos en gestión pública y política participativa. Se destaca que este enfoque multidisciplinario es necesario no solo para la formulación de estrategias sino para la implementación de las mismas.

2. Metodología

La formulación de proyectos encaminados a la descontaminación del aire en Bogotá que se llevó a cabo en este estudio fue el resultado de cerca de cuatro años de trabajo conjunto entre la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá y el Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional de la Universidad de los Andes. Este esfuerzo fue apoyado por Transmilenio S.A. durante la segunda fase del proyecto. En su totalidad, los resultados aquí discutidos con el fruto de una inversión por parte del Gobierno de la ciudad del orden de 2,000 millones de pesos del 2010.

Durante el periodo antes mencionado se actualizaron los inventarios de emisiones provenientes de fuentes industriales y vehiculares en la ciudad, se determinaron las características químicas del material particulado presente en la atmósfera bogotana y se llevó a cabo una modelación de fuentes receptoras. En todos estos casos se utilizaron metodologías y procedimientos que corresponden al estado del arte y que tuvieron que ver con mediciones directas realizadas en la ciudad bajo sus condiciones y características reales. Los resultados encontrados a partir de estos esfuerzos fueron utilizados en la primera etapa del proyecto para la formulación de los lineamientos técnicos y científicos del plan de descontaminación del aire de la ciudad.

Durante la segunda etapa del proyecto de formulación de la política pública distrital encaminada a la descontaminación del aire, la cual es el objeto del presente documento, se partió de los resultados antes mencionados y se aplicaron metodologías para la valoración de la relación beneficio-costos así como para la cuantificación de la costo-efectividad de las medidas/proyectos propuestos. Adicionalmente, dichos proyectos fueron sometidos a un análisis de optimización basado en técnicas de programación lineal a partir de las cuales se encontró el portafolio ideal de proyectos que deben ser parte del Plan Decenal de Descontaminación del Aire de Bogotá (PDDB). De forma paralela, se llevó a cabo un extenso ejercicio de participación ciudadana en el que se involucraron más de 1,000 residentes de todas las localidades urbanas de Bogotá, y a través del cual se consideraron las necesidades más sentidas de la población al momento de formular la política en referencia.

En este punto es fundamental resaltar que tal y como es el caso para cualquier ejercicio que involucre métodos de simulación, estimación de eventos futuros y algoritmos de optimización; los resultados del presente trabajo no son exentos de una incertidumbre significativa. Dicha incertidumbre no limita el alcance de las discusiones que serán presentadas en este documento pero debe entenderse como una componente intrínseca de todo el proceso. Esto a su vez significa que los valores aquí reportados no deben entenderse como cifras literales y 100% precisas sino como un soporte técnico y científico (el mejor disponible en la actualidad) para las políticas públicas que permitan mejorar las condiciones de calidad del aire de Bogotá.

Algunos de los aportes más relevantes de este proyecto incluyen la característica netamente local de la información técnica utilizada como soporte de las medidas sugeridas. Este fue el caso tanto para los inventarios de emisiones como para la cuantificación del beneficio-costos a través de la valoración de los beneficios en salud que se derivan de las mejoras en la calidad del aire en la ciudad. Dicho ejercicio tiene pocos antecedentes para el caso bogotano y las cifras generadas en este proyecto serán de inmensa utilidad para la ciudad. Del mismo modo, es relevante resaltar que en muchas ciudades del mundo los planes de descontaminación se han formulado con base en información secundaria y no necesariamente a partir de un análisis riguroso de las condiciones locales reales. Este ha sido el caso tanto para los factores que generan las emisiones como para las estadísticas de salud.

Otra variación importante al comparar la metodología desarrollada en este trabajo con esfuerzos similares llevados a cabo en otras ciudades del mundo tiene que ver con el tratamiento matemático de la información de calidad del aire que proviene de las redes de monitoreo local. Para el caso aquí descrito se utilizó una técnica de análisis de componentes principales (PCA) que permite entender la dinámica en toda la ciudad y que fue útil para generar indicadores que harán posible el seguimiento del cumplimiento de las metas del PDDB.

Un aporte clave de la metodología utilizada fue el uso de algoritmos de optimización para la selección del portafolio de proyectos del PDDB. Bajo este esquema fue posible identificar una combinación de estrategias que es de forma simultánea apropiada para el cumplimiento de las metas de descontaminación y eficiente desde el punto de vista de utilización de recursos. A través de estos análisis también se encontró que dicho

portafolio es el mejor posible desde el punto de vista de capacidad de reducción de emisiones y que una meta más ambiciosa en dichos términos sería excesivamente costosa de cumplir con el tipo de proyectos propuestos.

Lo anterior significa que las políticas a implementar de forma posterior al período del PDDDB (e.d., después del año 2020) deben incluir consideraciones tecnológicas bastante ambiciosas, incluyendo la utilización de vehículos híbridos o eléctricos y sistemas de transporte público que se caractericen por muy reducidas emisiones. Este será el reto para futuros procesos y es esencial destacarlo desde este tiempo para que alcancemos a reaccionar y planificar para tal escenario.

Los análisis correspondientes al sector de fuentes vehiculares incluyeron la formulación de escenarios de emisiones a futuro para un período de 12 años (2008-2020). Para dichos escenarios se consideró el crecimiento de la economía de la ciudad, la tasa de motorización, la distribución modal de viajes, la presencia de sistemas de control de emisiones, el efecto del envejecimiento de los motores y sus componentes, el impacto de la entrada en funcionamiento de sistemas de transporte masivo, la flota real que circula por la ciudad incluyendo vehículos matriculados fuera de ella y el efecto de la calidad de los combustibles disponibles.

Para el caso de fuentes industriales también se calcularon las emisiones a futuro para el período anteriormente mencionado. Para esto se utilizaron proyecciones de crecimiento del producto interno bruto de la ciudad, se consideró el efecto de la informalidad de las industrias, se validó y corrigió la información sobre sector económico según el código de Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), se tuvo en cuenta el tipo y calidad del combustible utilizado, y la presencia de sistemas de control de emisiones.

Los costos de las medidas/proyectos se determinaron por medio de técnicas sistemáticas y teniendo en cuenta valores de adquisición y operación de tecnologías en el entorno local, las características de las fuentes que se encuentran en Bogotá así como sus niveles de consumo de combustible y de generación de emisiones

Los beneficios económicos asociados con las mejoras en condiciones de salud que resultan de disminuir las concentraciones de contaminantes en el aire fueron valorados teniendo en cuenta los gastos en que incurre el sistema de salud al ofrecer sus servicios de atención a los pacientes así como el valor de las vidas humanas que se pierden y el beneficio económico que se hubiese podido obtener de su actividad productiva. Asimismo, en estas valoraciones se considera la afectación a la productividad debido a la restricción en la actividad laboral de personas que son afectadas por las enfermedades en cuestión o que deben hacerse cargo de terceros (v.g., menores de edad) que son aquejados por las mismas.

NOTA: Los soportes técnicos y científicos así como los detalles de la metodología y resultados encontrados en este trabajo se encuentran documentados en las partes A, B y C del informe final (Documentos de Trabajo).

3. Portafolio de Proyectos del PDDB

El portafolio óptimo de proyectos (la combinación de los proyectos que permite lograr las metas del plan de descontaminación al menor costo posible) seleccionado para Bogotá se resume en la Tabla 1. A través de la ejecución de dichos proyectos se lograría el cumplimiento de la meta de calidad del aire establecida (50 ug/m³ para el caso de la fracción respirable del material particulado) a nivel de toda la ciudad (calculada a partir del método de PCA). Para dicho caso sería necesario que las emisiones anuales para el contaminante en referencia fueran inferiores a 940 toneladas.

El portafolio en mención establece que en el sector industrial se requiere el uso de sistemas de control de emisiones, la sustitución de combustibles sólidos por gas natural y la formalización de una fracción de las industrias del sector informal. Para las medidas del sector transporte se incluye el uso de tecnologías de control de emisiones en buses del sistema de transporte público, en vehículos de transporte de carga así como en motocicletas. Todo esto sumado a la implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP).

Para este último caso debe resaltarse que las implicaciones del SITP podrían haberse considerado como resultados esperados del escenario tendencial. Este, sin embargo, no fue el caso durante el desarrollo de este proyecto dada la importancia que dicha medida tiene para el cumplimiento de las metas de calidad del aire en la ciudad. En pocas palabras, según la documentación recopilada y analizada en este estudio, en ausencia del SITP no es posible cumplir con las metas de descontaminación de una forma que sea costo-efectiva. Por esta razón, la implementación de dicho sistema fue incluida como parte de las medidas del plan en un esfuerzo por enfatizar la característica fundamental y esencial de dicho sistema, no solo para la movilidad de la ciudad sino también para su política ambiental del corto y largo plazo.

Tabla 1. Portafolio óptimo de medidas del plan de descontaminación del aire para Bogotá.

Medida	Sector	Proyecto	Descripción
1	Industrial	Uso de sistemas de control de emisiones	Instalación de sistemas de control de emisiones seleccionando las industrias con un único criterio de costo-efectividad.
2	Industrial	Conversión de carbón a gas natural y formalización	Transformación tecnológica para el 100% de las fuentes que actualmente usan carbón para que utilicen gas natural. Esto en combinación con la formalización del 50% de las industrias.
3	Transporte	Uso de sistemas de control de emisiones en vehículos de transporte de carga	Instalar catalizadores oxidativos en todos los vehículos de transporte de carga que circulen en Bogotá. Este requerimiento aplicará también para nuevos vehículos que entren al parque.
4	Transporte	Uso de sistemas de control de emisiones en motocicletas	Instalar catalizadores oxidativos y sistemas secundarios de inyección de aire en motocicletas de menos de 250 cc. Este requerimiento aplicará también para nuevos vehículos que entren a formar parte de dicho parque.
5a	Transporte (SITP)	Implementación del sistema integrado de transporte público	Implementar el SITP con su programa de renovación continua de flota y chatarrización
5b	Transporte (SITP)	Uso de sistemas de control de emisiones en vehículos que ingresan al SITP	Instalación de filtros de partículas en aquellos buses y busetas que entrarán a formar parte de la flota del SITP

NOTA: El detalle de lo que significa cada una de estas medidas se encuentra descrito en la Parte A del Informe Final del PDDB.

La Tabla 2 describe la programación óptima de los proyectos que conforman el PDDB. El uso de sistemas de control de emisiones en la flota de transporte público y las medidas relacionadas con el SITP deberían ser implementadas en el corto plazo. En el mediano plazo (2012-2013) se debería iniciar la utilización de sistemas de control de emisiones en la flota de transporte de carga y motocicletas, y en el sector industria la sustitución de otros combustibles por gas natural. Hacia el final del periodo de planeación se debería iniciar la utilización de sistemas de control de emisiones en la industria de la ciudad.

Tabla 2. Cronograma de implementación de las medidas.

Medida	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1										+	+
2				+	+	+	+	+			
3			+	+	+	+	+	+	+	+	+
4			+	+	+	+	+	+	+	+	+
5a		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5b		+	+	+	+	+					

4. Beneficios del PDDB - Emisiones

En las figuras 1 a 4 se presentan las emisiones de material particulado, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos totales para el período 2008-2020. En estas figuras la sombra gris alrededor de las líneas del escenario tendencial y del escenario esperado al implementar los proyectos mencionados en el capítulo anterior (escenario PDDB) representa de manera esquemática la incertidumbre asociada a la estimación de dichos valores.

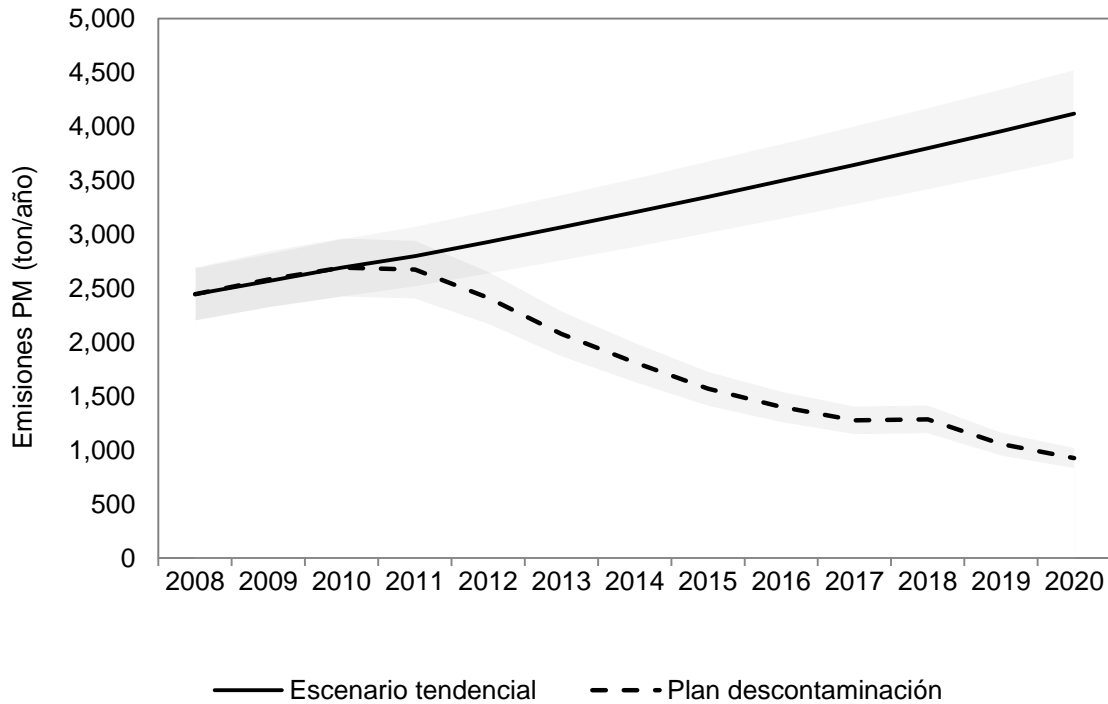


Figura 1. Emisiones de material particulado entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones bajo el escenario PDDB.

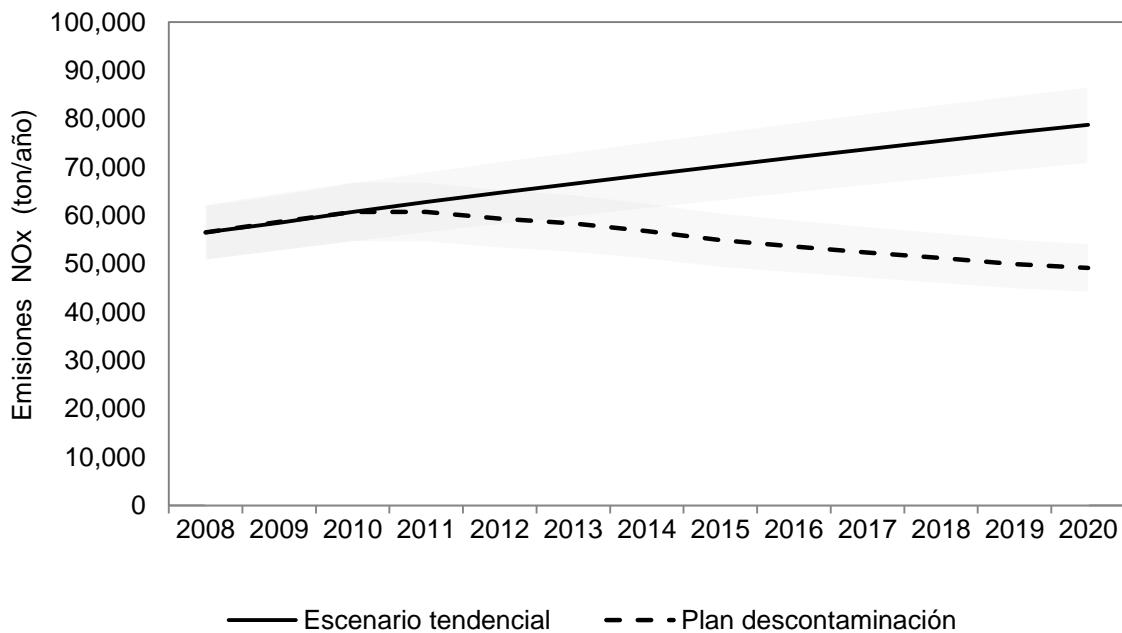


Figura 2. Emisiones de óxidos de nitrógeno entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones bajo el escenario PDDB.

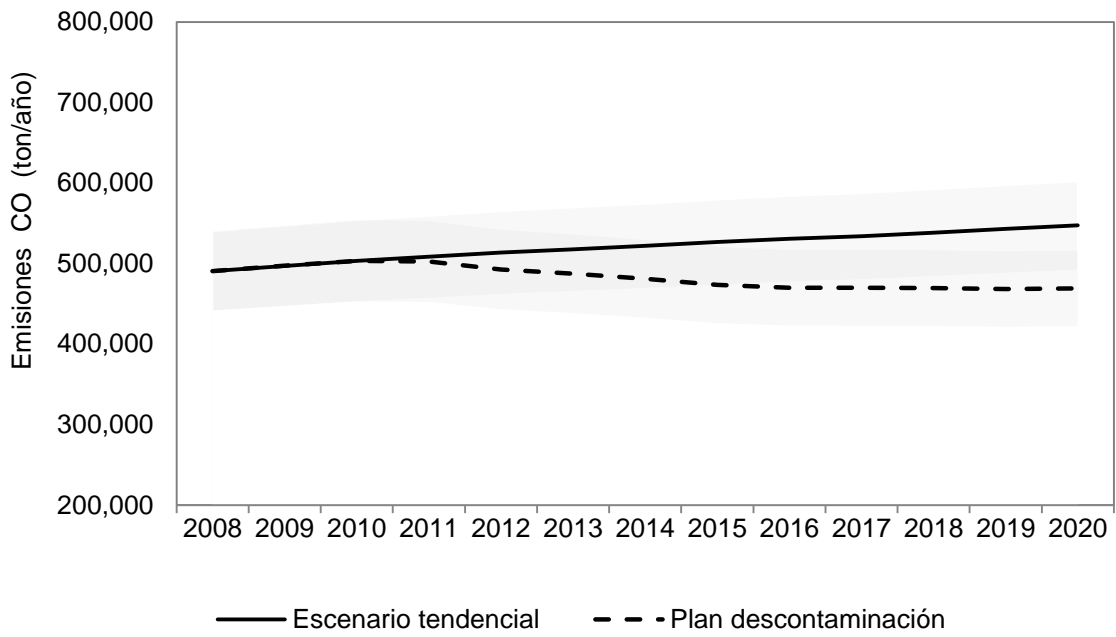


Figura 3. Emisiones de monóxido de carbono entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones bajo el escenario PDDB.

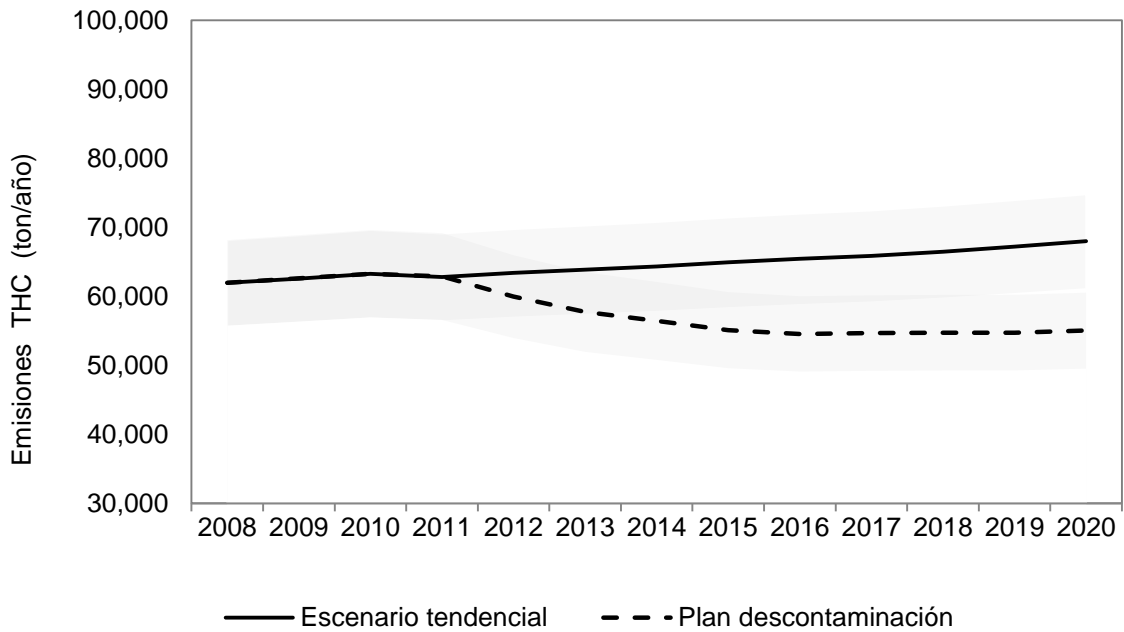


Figura 4. Emisiones de compuestos orgánicos totales entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones bajo el escenario PDDB.

5. Beneficios del PDDB - Salud

En la Tabla 3 se presenta el número de casos de morbi-mortalidad que ocurrirían en el escenario tendencial y los casos potencialmente evitados con la implementación del plan de descontaminación. Los casos evitados se estimaron como la diferencia entre el número de casos en el escenario con plan frente al número de casos en el escenario sin plan. En ambos casos los valores representan la sumatoria de los beneficios generados durante el periodo 2010-2020.

Vale la pena aclarar que bajo el modelo utilizado existe una gradualidad en la aparición de los beneficios en reducción de la mortalidad asociados con la exposición crónica. De este modo se espera que algunos de los beneficios generados por el plan de descontaminación alcancen su máxima expresión después del año 2020.

La carga de enfermedad corresponde al número de casos atribuibles a la contaminación bajo el escenario tendencial durante el periodo de análisis, es decir al número máximo de casos evitables. En términos generales, frente a la carga de enfermedad puede observarse una reducción en la morbilidad cercana al 32%, una reducción en la mortalidad infantil del orden del 40% y una reducción del 28% en la mortalidad en adultos mayores de 30 años.

Tabla 3. Comparación en el número casos entre el escenario tendencial y el escenario del plan de descontaminación para el periodo 2010-2020.

Efecto	Edad	Número de casos - Carga de enfermedad escenario tendencial (IC 95%) ¹	Casos evitados en escenario de implementación del PDDB (IC 95%) ¹
Mortalidad por exposición crónica	> 30 años	49,500 (17,900-82,500)	13,700 (4,700-24,500)
Mortalidad infantil	< 1 año	3,700 (1,500-5,500)	1,500 (550-2,400)
Admisiones hospitalarias (causas respiratorias)	< 5 años	84,300 (19,700-107,000)	27,500 (6,000-35,700)
Admisiones hospitalarias (causas respiratorias)	> 5 años	33,400 (7,800-42,500)	10,900 (2,400-14,200)
Admisiones hospitalarias (causas cardiovasculares)	Todas	10,300 (5,200-15,200)	3,200 (1,600-4,900)
Atención en urgencias (causas respiratorias)	< 5 años	25,300 (5,900-32,100)	8,200 (1,800-10,700)
Atención en urgencias (causas respiratorias)	> 5 años	117,400 (27,400-149,000)	38,300 (8,400-49,700)
Atención en salas ERA (Enf. Resp. Aguda)	< 5 años	227,600 (53,200-288,900)	74,200 (16,300-96,400)
Atención en unidades de cuidados intensivos	< 5 años	16,900 (3,900-21,400)	5,500 (1,200-7,100)
Síntomas respiratorios	< 5 años	1,686,000 (393,700-2,140,000)	550,000 (121,000-714,000)

¹Los valores entre paréntesis representan el intervalo de confianza del valor, este se estimó a partir de los intervalos de confianza de los RR correspondientes.

6. Conclusiones

Las mejoras ambientales que se lograrían a través del plan de descontaminación del aire de Bogotá conllevarían a beneficios muy importantes para la salud de sus habitantes. A través de dicha política, para el caso de la población infantil de la ciudad, se evitarían unas 27,500 hospitalizaciones por causas respiratorias, 75,000 atenciones en salas ERA y alrededor de 5,500 casos en unidades de cuidados intensivos. Adicionalmente, estaríamos bajo un escenario de 1,500 casos potencialmente evitables de mortalidad en niños.

Para el caso de los adultos, los beneficios de la implementación del PDDB representarían evitar alrededor de 14,000 muertes, más de 40,000 casos de atención en urgencias y alrededor de 11,000 casos de admisiones hospitalarias por causas respiratorias.

Los costos de las medidas para lograr estos resultados (en el período 2010-2010) ascienden a 1.7 billones de pesos mientras que los beneficios en referencia son equivalentes a 16 billones de pesos. De esta manera, de forma consistente con lo que ha sido reportado en estudios previos desarrollados en otros lugares de mundo, el presente trabajo demuestra que por cada peso que se invierte en proyectos para lograr la descontaminación del aire, se logran beneficios económicos de alrededor de 9 pesos.

Estos resultados ponen en evidencia la costo-efectividad de las medidas encaminadas a la mejora de las condiciones ambientales de la ciudad y representan el mejor argumento para que las autoridades del Distrito logren alcanzar el objetivo de ver convertida la política aquí descrita en un Acuerdo del Concejo Distrital. Todos los residentes de Bogotá merecen respirar un mejor aire y de esta forma estaríamos garantizando dicha condición.