

PLAN DECENAL DE DESCONTAMINACIÓN DEL AIRE DE BOGOTÁ

**Contrato 1040 de 2008 de Ciencia y Tecnología celebrado entre la Secretaría Distrital de
Ambiente, Transmilenio S.A. y la Universidad de los Andes**

Reporte Final

Parte A – Estructuración de Proyectos

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, Andrés Medaglia, Oscar A. Pardo, Mauricio Sánchez

Investigadores Colaboradores
Lida M. Ávila, 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,
Jorge Sefair, Edgar A. Virgüez

Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional
Facultad de Ingeniería
Universidad de los Andes
Bogotá, Colombia

Octubre de 2010

TABLA DE CONTENIDO

1. ASPECTOS GENERALES	10
2. INTRODUCCIÓN	11
2.1. Marco Conceptual	12
2.2. Marco Legal e Institucional	13
2.3. Normas y Capacidad de Fiscalización	14
2.4. Metas y Seguimiento del Plan	14
3. RESUMEN DEL PROYECTO	15
4. ANTECEDENTES	18
4.1. Calidad del Aire en Bogotá	18
4.2. Niveles de Exposición Personal	21
4.3. Inventario de Emisiones y Proyección de Emisiones	22
5. ARTICULACIÓN ENTRE METAS, ESTRATEGIAS Y PROYECTOS DEL PLAN	24
5.1. Metas y Propósito del Plan de Descontaminación	24
5.2. Estrategias del Plan de Descontaminación	24
5.3. Proyectos y Medidas del Plan de Descontaminación	25
6. ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS Y MEDIDAS	26
6.1. Sector Industrial	26
6.1.1. <i>Conversión de Carbón a Gas Natural – FF1</i>	26
6.1.2. <i>Conversión de Carbón a Gas Natural Suponiendo además la Formalización de una Fracción del Sector Informal de la Industria – FF2</i>	37
6.1.3. <i>Uso de Sistemas de Control de Emisiones – FF3</i>	47
6.1.4. <i>Uso de Sistemas de Control de Emisiones en Industrias del Sector Ladrillero y Reubicación de Fuentes – FF4</i>	55
6.2. Sector Transporte	65
6.2.1. <i>Reemplazo de Convertidores Catalíticos – FM1</i>	65
6.2.2. <i>Renovación de la Flota de Vehículos Particulares – FM2</i>	74
6.2.3. <i>Renovación de la Flota de Vehículos Particulares y Adicionalmente Reemplazo de Convertidores Catalíticos – FM3</i>	84
6.2.4. <i>Uso de Sistemas de Control de Emisiones en Motocicletas – FM4</i>	89
6.2.5. <i>Uso de sistemas de Control de Emisiones en Vehículos de Carga – FM5</i>	100
6.2.6. <i>Implementación del Sistema Integrado de Transporte Público – FM6</i>	110
6.2.7. <i>Uso de Sistemas de Control de Emisiones en TPC y Flota Alimentadora del SITP – FM7</i>	119

7. SELECCIÓN DE PROYECTOS PARA EL PLAN DECENAL DE DESCONTAMINACIÓN	129
8. MEDIDAS COMPLEMENTARIAS	128
8.1. Medidas y recomendaciones sugeridas por la ciudadanía en el proceso de política participativa	128
8.1.1. <i>Divulgación y educación a la ciudadanía sobre temas relacionados con la calidad del aire en Bogotá</i>	<i>128</i>
8.1.2. <i>Seguimiento y cuantificación de las emisiones provenientes de incendios forestales</i>	<i>133</i>
8.1.3. <i>Recomendaciones Adicionales</i>	<i>138</i>
8.2. Medidas y recomendaciones relacionadas con fuentes industriales	141
8.2.1. <i>Mejoramiento de la calidad de combustibles en las industrias</i>	<i>141</i>
8.2.2. <i>Fortalecimiento del programa de seguimiento y control a las industrias</i>	<i>144</i>
8.2.3. <i>Renovación de sistemas de combustión en la industria</i>	<i>147</i>
8.2.4. <i>Certificación para operarios de equipos de combustión</i>	<i>150</i>
8.2.5. <i>Recomendaciones adicionales</i>	<i>152</i>
8.3. Medidas y recomendaciones relacionadas con fuentes vehiculares	153
8.3.1. <i>Fomentar buenas prácticas de conducción</i>	<i>153</i>
8.3.2. <i>Optimización operacional de la flota de taxis</i>	<i>156</i>
8.3.3. <i>Recomendaciones adicionales</i>	<i>161</i>
8.4. Otras medidas complementarias	163
8.4.1. <i>Automatización de los reportes de información: toma de datos en operativos de control a fuentes fijas y móviles.</i>	<i>163</i>
8.4.2. <i>Otras consideraciones</i>	<i>166</i>
9. PROGRAMAS DE LA SDA QUE SON FUNDAMENTALES COMO COMPLEMENTO AL PLAN DECENAL DE DESCONTAMINACIÓN	167
9.1. Pico y Placa Ambiental	167
9.2. Pico y Placa de Movilidad	168
9.3. Mejoramiento del ACPM	168
9.4. Operativos en Vía	170
9.5. Control a Fuentes Industriales	171
10. BENEFICIOS EN SALUD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN	172
11. ACLARACIÓN SOBRE LA METODOLOGÍA DE PONDERACIÓN UTILIZADA	176
12. RECOMENDACIONES DE FUTUROS ESTUDIOS	177
13. REFERENCIAS	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario de emisiones para el año base (2008).	22
Tabla FF1.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.	30
Tabla FF1.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	31
Tabla FF1.C. Costo total.	31
Tabla FF1.D. Costo por tonelada de PM reducida.	32
Tabla FF1.E. Actores del sector público.....	32
Tabla FF1.F. Actores del sector privado.....	33
Tabla FF1.G. Otros/Ciudadanía.	33
Tabla FF2.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.	41
Tabla FF2.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	41
Tabla FF2.C. Costo total.	41
Tabla FF2.D. Costo por tonelada de PM reducida.	42
Tabla FF2.E. Actores.	42
Tabla FF3.A. Porcentaje de la meta para las diferentes categorías industriales.....	48
Tabla FF3.B. Número de industrias a las que se les instalarían sistemas de control.....	48
Tabla FF3.C. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.	50
Tabla FF3.D. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	50
Tabla FF3.E. Costo total.	50
Tabla FF3.F. Costo por tonelada de PM reducida.....	51
Tabla FF3.G. Actores del sector público.	51
Tabla FF3.H. Actores del sector privado.	51
Tabla FF3.I. Otros/Ciudadanía.	52
Tabla FF4.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.	59
Tabla FF4.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	59
Tabla FF4.C. Costo total.	60
Tabla FF4.D. Costo por tonelada de PM reducida.	60
Tabla FF4.E. Actores del sector privado.	60
Tabla FF4.F. Otros/Ciudadanía.....	60
Tabla FF4.G. Actores del sector público.	61
Tabla FM1.A. Modos de renovación de convertidores catalíticos.....	65
Tabla FM1.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	68
Tabla FM1.C. Costo total.	69
Tabla FM1.D. Costo por tonelada de contaminante reducida.....	69
Tabla FM1.E. Actores del sector público.	69
Tabla FM1.F. Actores del sector privado.....	70
Tabla FM1.G. Otros/Ciudadanía.	70

Tabla FM2.A. Modos de renovación de la flota de vehículos particulares.	74
Tabla FM2.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	79
Tabla FM2.C. Costo total.	79
Tabla FM2.D. Costo por tonelada de contaminante reducida.	79
Tabla FM2.E. Actores del sector privado.	79
Tabla FM2.F. Otros/Ciudadanía.	79
Tabla FM2.G. Actores del sector público.	80
Tabla FM3.A. Modos de renovación de convertidores catalíticos.	84
Tabla FM3.B. Costo total.	88
Tabla FM3.C. Costo por tonelada de contaminante reducida.	88
Tabla FM4.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.	93
Tabla FM4.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	94
Tabla FM4.C. Costo total.	94
Tabla FM4.D. Costo por tonelada de PM reducida.	95
Tabla FM4.E. Actores del sector público.	95
Tabla FM4.F. Actores del sector privado.	95
Tabla FM4.G. Otros/Ciudadanía.	96
Tabla FM5.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.	103
Tabla FM5.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	104
Tabla FM5.C. Costo total.	104
Tabla FM5.D. Costo por tonelada de PM reducida.	104
Tabla FM5.E. Actores del sector público.	105
Tabla FM5.F. Otros/Ciudadanía.	105
Tabla FM5.G. Actores del sector privado.	106
Tabla FM6.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.	112
Tabla FM6.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	113
Tabla FM6.C. Costo total.	113
Tabla FM6.D. Costo por tonelada de PM reducida.	114
Tabla FM6.E. Actores del sector público.	114
Tabla FM6.F. Actores del sector privado.	114
Tabla FM6.G. Otros/Ciudadanía.	114
Tabla FM7.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.	121
Tabla FM7.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	122
Tabla FM7.C. Costo total.	122
Tabla FM7.D. Costo por tonelada de PM reducida.	123
Tabla FM7.E. Actores del sector privado.	123
Tabla FM7.F. Actores del sector público.	124

Tabla FM7.G. Otros/Ciudadanía.	124
Tabla 2. Meta en emisiones de PM del plan de descontaminación.	129
Tabla 3. Portafolio óptimo de medidas del plan.	130
Tabla 4. Cronograma de implementación de las medidas.	130
Tabla 5. Comparación entre las emisiones acumuladas en los dos escenarios.	133
Tabla MC1.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	130
Tabla MC1.B. Actores.	130
Tabla MC2.A. Impactos sobre otros sectores.	135
Tabla MC2.B. Actores de la medida.	136
Tabla MC3.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	141
Tabla MC3.B. Actores del sector público.	142
Tabla MC3.C. Actores del sector privado.	142
Tabla MC3.D. Otros/Ciudadanía.	142
Tabla MC4.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	144
Tabla MC4.B. Actores del sector público.	145
Tabla MC4.C. Otros/Ciudadanía.	145
Tabla MC5.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	148
Tabla MC5.B. Actores del sector público.	148
Tabla MC5.C. Actores del sector privado.	149
Tabla MC5.D. Otros/Ciudadanía.	149
Tabla MC6.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	150
Tabla MC6.B. Actores del sector público.	151
Tabla MC6.C. Actores del sector privado.	151
Tabla MC6.D. Otros/Ciudadanía.	151
Tabla MC7.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	154
Tabla MC7.B. Actores del sector público.	154
Tabla MC7.C. Actores del sector privado.	154
Tabla MC7.D. Otros/Ciudadanía.	154
Tabla MC8.A. Impactos sobre otros sectores.	157
Tabla MC8.B. Actores del sector público.	158
Tabla MC8.C. Actores del sector privado.	158
Tabla MC8.D. Otros/Ciudadanía.	158
Tabla MC9.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.	163
Tabla MC9.B. Actores del sector público.	164
Tabla MC9.C. Actores del sector privado.	164
Tabla 6. Comparación escenario tendencial y plan de descontaminación 2010-2020.	173
Tabla 7. Resumen de beneficios económicos por la reducción de material particulado	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las estaciones de la red de monitoreo de la calidad del aire de Bogotá.	19
Figura 2. Índice de porcentaje de excedencia de la norma de calidad del aire para PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y CO, análisis multianual 1997-2008 para todo Bogotá.	20
Figura 3. Índice de porcentaje de excedencia de la norma de calidad del aire para PM ₁₀ con respecto a norma anual.	20
Figura 4. Mapa de iso-concentraciones de PM ₁₀ en Bogotá para el año 2008.	21
Figura 5. Proyección de las emisiones de fuentes móviles para el horizonte 2008-2020.	23
Figura 6. Proyección de las emisiones de fuentes fijas para el horizonte 2008-2020.	23
Figura FF1.A. Emisiones de PM del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	28
Figura FF1.B. Emisiones de NO _x del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	28
Figura FF1.C. Emisiones de COT del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	29
Figura FF1.D. Emisiones de CO de las categorías HC, HL, CC1 y CC2 en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	29
Figura FF1.E. Emisiones de CO ₂ del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	30
Figura FF1.F. Opciones de implementación de la medida.	36
Figura FF2.A. Emisiones de PM del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	38
Figura FF2.B. Emisiones de NO _x del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	39
Figura FF2.C. Emisiones de COT del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	39
Figura FF2.D. Emisiones de CO del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	40
Figura FF2.E. Emisiones de CO ₂ del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.	40
Figura FF2.F. Opciones de implementación de la medida.	46
Figura FF3.A. Emisiones del sector industrial con la aplicación de la medida y en el escenario tendencial.	49
Figura FF3.B. Opciones de implementación de la medida.	54
Figura FF4.A. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de PM del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.	56
Figura FF4.B. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de NO _x del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.	57
Figura FF4.C. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de COT del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.	57
Figura FF4.D. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de CO del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.	58
Figura FF4.E. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de CO ₂ del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.	58

Figura FF4.F. Mecanismos de implementación de la medida.	64
Figura FM1.A. Impacto de la medida en las emisiones de NO _x de los vehículos particulares en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.	66
Figura FM1.B. Impacto de la medida en las emisiones de COT de los vehículos particulares en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.	67
Figura FM1.C. Impacto de la medida en las emisiones de CO de los vehículos particulares en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.	67
Figura FM1.D. Opciones de implementación de la medida.	73
Figura FM2.A. Impacto de la medida en las emisiones de PM de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	75
Figura FM2.B. Impacto de la medida en las emisiones de NO _x de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	76
Figura FM2.C. Impacto de la medida en las emisiones de COT de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	77
Figura FM2.D. Impacto de la medida en las emisiones de CO de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	77
Figura FM2.E. Impacto de la medida en las emisiones de CO ₂ de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	78
Figura FM2.F. Mecanismos de implementación de la medida.	83
Figura FM3.A. Impacto de las medidas en las emisiones de PM de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.	85
Figura FM3.B. Impacto de las medidas en las emisiones de NO _x de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.	85
Figura FM3.C. Impacto de las medidas en las emisiones de COT de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.	86
Figura FM3.D. Impacto de las medidas en las emisiones de CO de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.	87
Figura FM3.E. Impacto de las medidas en las emisiones de CO ₂ de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.	87
Figura FM4.A. Impacto de la medida en las emisiones de PM de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.	90
Figura FM4.B. Impacto de la medida en las emisiones de NO _x de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.	91
Figura FM4.C. Impacto de la medida en las emisiones de COT de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.	91
Figura FM4.D. Impacto de la medida en las emisiones de CO de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.	92
Figura FM4.E. Impacto de la medida en las emisiones de CO ₂ de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.	93
Figura FM4.F. Opciones de implementación de la medida.	99
Figura FM5.A. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de PM de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	101
Figura FM5.B. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de NO _x de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	102

Figura FM5.C. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de COT de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	102
Figura FM5.D. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de CO de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	103
Figura FM5.E. Opciones de implementación de la medida.	109
Figura FM6.A. Efecto de la implementación del SITP en las emisiones de PM del sector de transporte público en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.	112
Figura FM6.B. Opciones de implementación de la medida.	118
Figura FM7.A. Efecto de la medida (SCE1, sin implementación del SITP) en las emisiones de PM del sector de transporte público en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	120
Figura FM7.B. Efecto de la medida (SCE2, con implementación del SITP) en las emisiones de PM del sector de transporte público en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.	121
Figura FM7.C. Alternativas de implementación de la medida.	128
Figura 7. Emisiones de material particulado entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones con la aplicación del plan de descontaminación.	131
Figura 8. Emisiones de óxidos de nitrógeno entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones con la aplicación del plan de descontaminación.	131
Figura 9. Emisiones de monóxido de carbono entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones con la aplicación del plan de descontaminación.	132
Figura 10. Emisiones de compuestos orgánicos totales entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones con la aplicación del plan de descontaminación.	132
Figura MC1.A. Opciones de implementación de la medida.	132
Figura MC2.A. Media móvil (30 días) - Concentración de PM2.5 en Estación Kennedy.	133
Figura MC2.B. Número de incendios ocurridos en Bogotá por trimestres.	134
Figura MC2.C. Tamaño de los incendios registrados anualmente.	134
Figura 11. Impacto de la mejora de la calidad del diésel en la calidad del aire.	169
Figura 12. Operativos en vía.	170
Figura 13. Concentración de PM 2010-2020 en el escenario tendencial en comparación con el escenario con plan de descontaminación.	172

Página en Blanco

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 directivas 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.

1. ASPECTOS GENERALES

Este documento constituye la Parte A – (Estructuración de Proyectos) del informe final del Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá (PDDDB), 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 informe se presentan los principios, políticas y estrategias en las que se encuentra enmarcado el PDDDB. Se hace además una descripción de los antecedentes y se presentan las medidas/proyectos analizados para el plan. Se presenta el portafolio óptimo de medidas/proyectos que fueron identificados como resultado del proceso de optimización, así como una serie de medidas complementarias. Finalmente, se presentan los beneficios en salud que resultarían del desarrollo del Plan.

Los detalles técnicos complementarios a este documento se encuentran documentados en las Partes B y C (Documentos de Trabajo) del informe final. 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.

2. INTRODUCCIÓN

La calidad 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.

Tal y como es discutido en diferentes apartes de este informe final, 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 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.

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.

2.1. Marco Conceptual

El marco conceptual del trabajo desarrollado se basa en la necesidad de desarrollar un plan de descontaminación coordinado, robusto y costo-efectivo que considere de forma integral todos los aspectos científicos, tecnológicos, políticos y económicos del problema en cuestión. Del mismo modo, se consideró fundamental la inclusión de todos los sectores afectados y de la ciudadanía de Bogotá al momento de formular el plan. Se pretendió entonces que todas las medidas planteadas conllevaran a beneficios ambientales pero sin generar limitaciones injustificadas al crecimiento económico de la ciudad así como evitando molestias exageradas o disminución en la calidad de vida de los habitantes.

La valoración de los costos y los beneficios en salud pública que se derivan de la política de descontaminación del aire aquí planteada se llevaron a cabo utilizando al material particulado como el indicador de calidad del aire. Esto no significa que otros contaminantes del aire no fueron considerados en el plan pero para esta parte de la metodología el énfasis exclusivo fue otorgado al material particulado.

Lo anterior es el caso de virtualmente todas las valoraciones de costos y beneficios en salud que se llevan a cabo en el marco de la formulación de un plan de descontaminación del aire. Esto se debe a que las principales asociaciones epidemiológicas que han sido establecidas y documentadas en la literatura científica hacen referencia a la relación entre niveles de contaminación por partículas e incremento en tasas de mortalidad y morbilidad. Contaminantes como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno y azufre pueden actuar a través de efectos sinérgicos pero la evidencia actualmente existente muestra de forma bastante clara que dichos efectos son limitados y de poca importancia comparados con las concentraciones de material particulado, especialmente para niveles relativamente altos como los que se observan en Bogotá.

El caso del ozono es algo diferente dado que representa el segundo contaminante más abundante en Bogotá y dado que exposiciones elevadas a dicho contaminante se encuentran asociadas con diversas afecciones respiratorias. Sin embargo, de acuerdo a la evidencia disponible en la literatura científica, la correlación existente entre tasas de

mortalidad y elevadas concentraciones de ozono es de inferior magnitud al compararse con los efectos del material particulado.

NOTA: En este documento se hace mención genérica al material particulado (usando la sigla PM) así como a sus fracciones respirables y finas (PM₁₀ y PM_{2.5}). Para el caso de las emisiones directas y dados los tamaños de partículas que se generan por medio de procesos de combustión (típicamente inferiores a un micrón), dichos términos se consideran equivalentes para los propósitos del PDDB. Es claro que esta simplificación no aplica para aquellos casos en los que se haga referencia a concentraciones ambientales.

2.2. Marco Legal e Institucional

Aspectos institucionales y de gobierno son esenciales para lograr una mejora de la calidad del aire en Bogotá. Estos incluyen las interacciones entre la autoridad ambiental local con sus equivalentes a nivel regional y nacional en instancias tales como la mesa regional de calidad del aire. En este sentido deben realizarse esfuerzos para fortalecer la gestión y la sostenibilidad a largo plazo de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaría Distrital de Ambiente.

Para esto no se proponen nuevas reformas administrativas o reestructuraciones en la conformación de las entidades o en lo que se refiere a las funciones de los funcionarios y contratistas sino el fortalecimiento de la capacidad existente. Lo más importante en este sentido es alcanzar un acuerdo para que el personal asignado a la dependencia en referencia logre permanecer en el ejercicio de sus funciones por períodos de varios años. Dado el horizonte de tiempo del plan, esta permanencia es fundamental para que quienes son los directos encargados de su seguimiento e implementación entiendan los pormenores de las gestiones a realizar así como los fundamentos científicos y sociales de las mismas.

Lo anterior representa un importante desafío dada la forma de contratación que es típica para entidades del Estado en Colombia, en donde un buen número de contratistas llevan a cabo labores equiparables a funcionarios de planta, así como teniendo en cuenta que el plan será ejecutado durante diferentes administraciones distritales. Sin embargo, no hay forma alguna de sortear la necesidad de lograr el acuerdo en mención si se desea ser exitoso en el objetivo planteado.

Esto toma mayor importancia al tener en cuenta que de la revisión realizada como parte de este proyecto del marco legal y jurídico actualmente vigente en Colombia (y que sería requerido para la implementación del plan), se deriva la conclusión de que dicho marco es apropiado en lo fundamental.

En primer lugar se cuenta con el mandato constitucional que indica que es competencia del Estado velar por el derecho a un ambiente sano (artículos 79 y 80) así como de ejecutar la planeación y las acciones preventivas para lograr que dicho ambiente no sufra deterioros. En segundo lugar, se cuenta con el Artículo 65 de la Ley 99 de 1993, en donde se le otorga al Distrito Capital la función de ejecutar proyectos de descontaminación que pretendan el control de las emisiones contaminantes del aire. Finalmente, se cuenta con el requerimiento establecido en el Artículo 94 del Decreto 979 de 2006, en donde se especifica la necesidad de contar con planes de descontaminación para aquellos casos en donde se registren concentraciones atmosféricas de contaminantes que superen lo establecido en la misma norma, tal y como es la condición de Bogotá.

Adicionalmente, dada la necesidad de concertar y ejecutar medidas con otros sectores del gobierno de la ciudad se propone otorgar al Consejo Ambiental Distrital de la ciudad toda la importancia y la jurisdicción que le compete. Según el Acuerdo 19 de 1996 del Concejo de

Bogotá (con sus respectivas modificaciones), dicha instancia es la encargada de coordinar el sistema ambiental distrital y la asistencia a la misma es indelegable. De esta forma, se puede afirmar que ya se cuenta con el organismo que se requiere para lograr el compromiso por parte de quienes dirigen los sectores que conforma al gabinete distrital.

La solución al problema de calidad del aire depende tanto del apropiado diseño de las medidas/proyectos enfocados al control de las fuentes de contaminación como de la implementación de políticas relacionadas con desarrollo y planificación urbana, energía, educación, demografía, e industria y comercio. En este sentido se destaca una vez más que la gestión de la calidad del aire es un tema netamente multidisciplinario que requiere del actuar articulado de múltiples sectores.

2.3. Normas y Capacidad de Fiscalización

Tal y como fue mencionado en la sección anterior, con excepción de la recomendación de contar con una planta técnica estable que se encargue de hacer seguimiento al cumplimiento del plan, la opinión del equipo de trabajo es que en general no se requieren reformas mayores ni sustanciales en temas normativos o de estructura administrativa y organizacional de la SDA. El problema a resolver no es volver a inventarse el sistema ambiental distrital, el desafío es hacerlo trabajar de forma eficiente y articulada en lo que se refiere a las metas y programas del PDDB.

En este mismo sentido encontramos que, en general, las normas que son aplicables tanto a nivel nacional como distrital en lo que se refiere a niveles permisibles de contaminación del aire y de descargas asociadas con fuentes industriales y vehiculares corresponden a lineamientos razonables y comparables con normas de carácter internacional. Esto significa que lo que se requiere no es de normas que establezcan metas de calidad del aire más exigentes sino mecanismos que permitan el cumplimiento de las mismas. Dichos mecanismos son el objeto del presente documento.

2.4. Metas y Seguimiento del Plan

La principal meta del plan decenal de descontaminación es cumplir, al final del horizonte de diseño en el año 2020, la normativa nacional vigente (Resolución 610 de 2010) a lo largo de toda la ciudad. Según las estimaciones realizadas mediante el modelo de calidad del aire utilizado, para cumplir esta meta para el caso de material particulado respirable es necesario lograr una reducción de cerca del 80% en las emisiones que se observarían en el año 2020 bajo el escenario tendencial. Esto equivale a que en el año 2020 se tendrían aproximadamente el 35% de las emisiones que se tienen en la actualidad para el contaminante en referencia.

Para el caso de los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos totales, y monóxido de carbono, se logra el cumplimiento de la meta de calidad del aire en el año 2020 si para esa fecha se mantienen los niveles de emisiones que se observan en la actualidad. Adicionalmente, se propuso como meta complementaria del plan, la reducción en los niveles de exposición personal. Dicho criterio se tuvo en cuenta durante la valoración de aspectos positivos de las medidas/proyectos que hacen parte del PDDB.

Se propone realizar una valoración del plan cada dos años, teniendo en cuenta los indicadores de calidad del aire globales y locales propuestos para ozono y material particulado, con base en los registros de la red de monitoreo de calidad del aire que opera la SDA y de acuerdo a la metodología presentada en el Documento de Trabajo.

3. RESUMEN DEL PROYECTO

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.

Durante el período 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 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, a través del cual se pretendió considerar 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 en contraste con la limitada extrapolación geográfica y temporal que se deriva de los datos producidos de forma directa para las redes de monitoreo. Esto es de vital importancia dado que los indicadores de cumplimiento del plan se determinan con base en este tipo de información (ver Capítulo 11).

Una de las conclusiones más importantes del trabajo aquí desarrollado tiene que ver con la fortaleza estadística y conceptual de la metodología por PCA. Esto se debe a que dicha metodología basa sus cálculos internos en la misma información contenida en la RMCAB de tal forma que se blinda de juicios de valor y de todo tipo de sesgo que pueda ser impartido por quien analiza los datos. Del mismo modo, el análisis por PCA refleja los resultados de todos los componentes que intervienen en la determinación de la contaminación del aire, incluyendo a la meteorología.

De esta forma, al mismo tiempo que representa una metodología plenamente estandarizada y verificable, durante la aplicación de la misma se considera la variabilidad de los datos a nivel de toda la red así como a nivel de cada estación y se involucra la dinámica de cambio del comportamiento de los datos como respuesta a eventos meteorológicos y climatológicos. Un promedio simple o un promedio ponderado que utilice otro tipo de criterios muy difícilmente estarán en capacidad de replicar las condiciones antes descritas de forma estandarizada y que pueda ser aplicable durante diferentes épocas y momentos a toda la base de datos que conforma la RMCAB (ver Capítulo 11).

Otra conclusión de gran relevancia tiene que ver con la optimización de los proyectos que conforman al Pddb. En este sentido se logró determinar el portafolio que lograra cumplir con las metas del plan pero que al mismo tiempo fuese el más óptimo desde el punto de vista de costos para la sociedad. 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. Esto significa que las políticas a implementar de forma posterior al Pddb deben incluir consideraciones tecnológicas bastante más 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. Dichos costos (para la totalidad del período 2010-2020) ascienden a 1.7 billones de pesos.

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. Dichos beneficios ascienden a cerca de 16 billones de pesos para el período de análisis.

Las mejoras ambientales que se lograrían a través del plan de descontaminación conllevarían a evitar cerca de 15,000 muertes durante el período analizado (2010 a 2020), siendo la población infantil de la ciudad la que se vería mayormente beneficiada. Asimismo, se observaría una disminución de unas 40,000 hospitalizaciones y se podrían evitar más de 70,000 casos de atención por Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) así como más de 5,000 casos en unidades de cuidados intensivos.

En resumen, 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 necesidad de tomar acciones concretas en estos temas así como la urgencia de que los diferentes sectores de la ciudad sean partícipes de las iniciativas en relación con el Plan Decenal de Descontaminación del Aire.

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 B y C del informe final (Documentos de Trabajo).

4. ANTECEDENTES

Durante las últimas décadas, al igual que muchos de los grandes centros urbanos de América Latina, Bogotá ha experimentado un intenso y acelerado proceso de expansión y desarrollo con el consecuente aumento en la demanda de servicios y en la presión ejercida sobre la infraestructura básica. Este fenómeno se ha presentado de forma desordenada y en ausencia de una planificación centralizada e integral. Una de las más notables consecuencias de esta situación es el incremento en los niveles de contaminación del aire, a su vez relacionados con problemas de carácter social y económico. Se encuentra ampliamente documentado que mayores concentraciones de contaminantes del aire están relacionadas con efectos negativos en la salud de la población, especialmente en lo que se refiere al incremento de las tasas de morbilidad y mortalidad que tienen que ver con enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Según los registros de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (SDS), la enfermedad respiratoria es la principal causa de mortalidad infantil en la ciudad. Al mismo tiempo, se conoce que la capital de Colombia es una de las ciudades de América Latina con los más altos índices de contaminación por material particulado. Esto es de particular importancia dado que la evidencia consignada en la literatura científica demuestra, de forma inequívoca, que existe una relación directa entre enfermedad respiratoria y niveles de contaminación por material particulado, especialmente en lo que se refiere a la fracción fina del mismo ($PM_{2.5}$). La alta incidencia de este tipo de enfermedades genera importantes pérdidas económicas dadas las grandes cantidades de recursos que deben usarse para hacer frente a las mismas, además por las pérdidas en productividad y competitividad que se derivan de ellas.

El deterioro de la calidad del aire en Bogotá y su relación con efectos negativos sobre la salud ha generado preocupación e interés para resolver el problema por parte de las autoridades de orden local y nacional. Este interés se ha visto reflejado en la realización de estudios e investigaciones que pretenden cuantificar y explicar el problema, así como en una serie de acciones encaminadas a mejorar las condiciones ambientales de la ciudad. Sin embargo, muchos de los esfuerzos hasta ahora implementados han resultado insuficientes y la contaminación del aire sigue siendo severa e incluso se ha incrementado en algunas zonas de la ciudad. Por esto se requiere de un fortalecimiento en las acciones y de las instituciones responsables de su desarrollo.

En este punto es necesario resaltar que la tendencia al alza en los niveles de contaminación atmosférica se explica en parte por el crecimiento económico que la ciudad ha experimentado en años recientes. Esto se debe a que una economía más vibrante se encuentra asociada con una mayor demanda de energía, un mayor consumo de combustibles fósiles y una mayor demanda para la totalidad de los modos de transporte. Por lo tanto, las políticas de mejoramiento de la calidad del aire deben ser lo suficientemente ambiciosas para no sólo revertir la situación actual de contaminación, sino también para contrarrestar el efecto del crecimiento económico.

En esta sección se presenta un diagnóstico del estado actual y una descripción de las tendencias observadas en los últimos años en la calidad del aire de la ciudad de Bogotá. Asimismo, se presenta información relacionada con niveles de exposición personal.

4.1. Calidad del Aire en Bogotá

El diagnóstico de la contaminación de aire se realizó con base en los registros de la red de monitoreo de la calidad del aire de Bogotá (RMCAB) (ver Figura 1). La RMCAB cuenta con equipos que permiten cuantificar en tiempo real variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento, precipitación, intensidad lumínica, temperatura y humedad relativa,

entre otras), así como determinar las concentraciones de los principales contaminantes atmosféricos, CO, NO_x, óxidos de azufre (SO_x), O₃ y material particulado (PM).



Figura 1. Ubicación de las estaciones de la red de monitoreo de la calidad del aire de Bogotá.

Para documentar y resumir el problema de contaminación de la ciudad se utilizó el Índice Porcentual de Excedencias (IPE – ver Gaitán et. al., 2007). Este indicador (ver Ecuación 1) compara los datos disponibles de la RMCAB con la norma nacional de calidad del aire y cuantifica el nivel de incumplimiento de la misma.

$$IPE = \sum_i \left(\frac{N_E}{N_D} \right) \cdot 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde N_E es el número de veces en que los datos de calidad del aire (v.g., promedios horarios, promedios diarios) exceden la norma usada como referencia (v.g., norma anual, norma diaria) y N_D es el número total de datos disponibles para cada una de las estaciones (i) de la red.

En la Figura 2 se presenta el IPE para todo Bogotá para los principales contaminantes criterio, estimado a partir de los datos de la RMCAB desde el año 1997 hasta el año 2008. Estos resultados demuestran que el principal problema de contaminación que enfrenta la ciudad tiene que ver con el material particulado. Para este contaminante se reporta un nivel de incumplimiento en el 40% de los días al comparar la norma de larga duración (norma anual) con los promedios diarios generados por todas las estaciones que se encuentran en capacidad de medir dicho contaminante. Este valor es significativamente superior al valor de IPE para ozono, contaminante que le sigue en nivel de incumplimiento de la norma de calidad del aire. Para los otros contaminantes los niveles registrados por las estaciones de la RMCAB suelen ser inferiores a los límites establecidos por la normativa nacional.

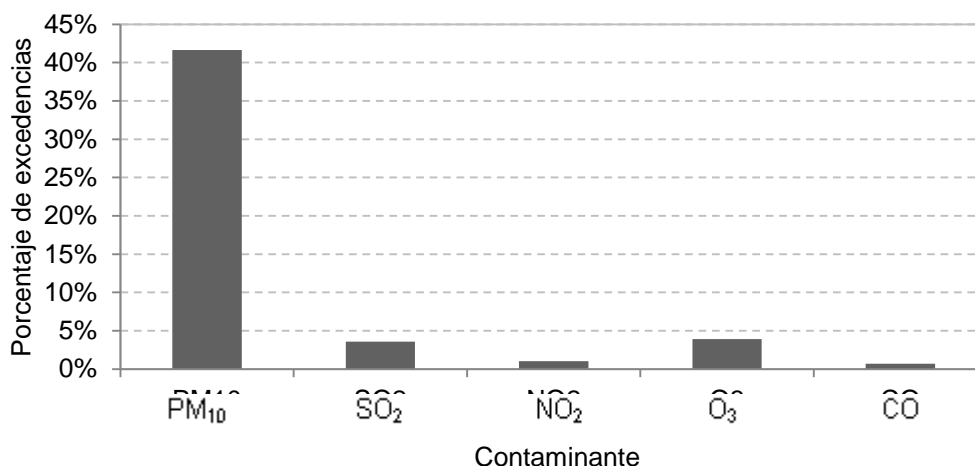


Figura 2. Índice de porcentaje de excedencia de la norma de calidad del aire para PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ y CO, análisis multianual 1997-2008 para todo Bogotá.

Nota: Para PM₁₀, SO₂ y NO₂, los valores hacen referencia a la comparación entre promedios diarios y la norma anual. Para el caso de O₃ y CO, la comparación se realiza con base en promedios horarios y la norma octo-horaria.

La excedencia a la norma de PM₁₀ es una situación que ha sido recurrente durante los últimos años en la ciudad. Un análisis detallado del comportamiento de PM₁₀ para los años 1997-2008 (ver Figura 3), sugiere una tendencia relativamente estable en el valor del porcentaje de excedencia, presentándose violaciones a la norma alrededor del 40% del tiempo.

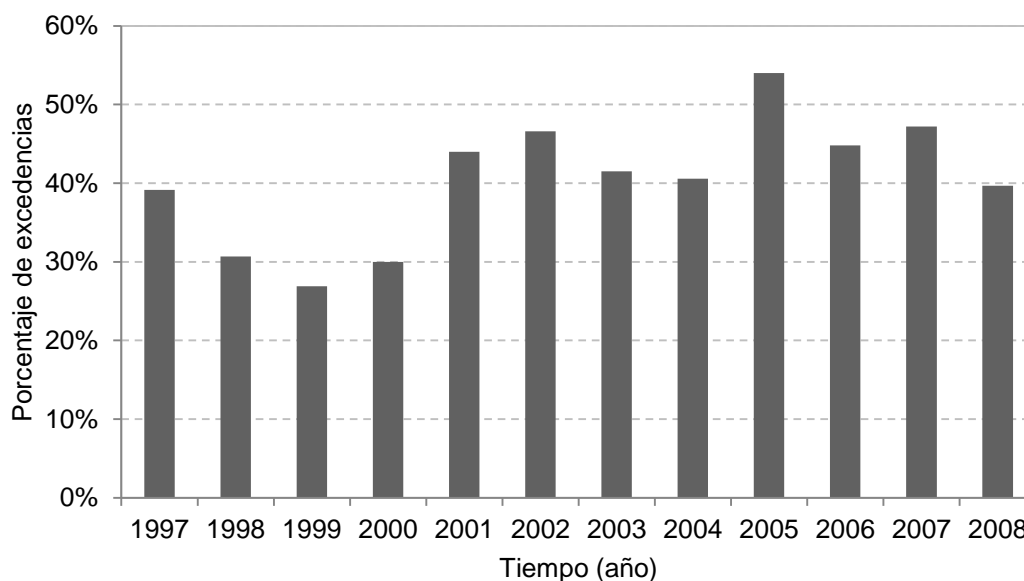


Figura 3. Índice de porcentaje de excedencia de la norma de calidad del aire para PM₁₀ con respecto a norma anual.

En la Figura 4 se presenta la distribución geográfica del nivel de incumplimiento de la norma nacional de calidad del aire para PM₁₀ en el año 2008. Los niveles de concentración de PM sobrepasan los valores establecidos por la normativa nacional en una fracción significativa del perímetro urbano de Bogotá, siendo la zona centro-occidental (en donde se concentra la actividad industrial) la zona más crítica. En esta zona es común que más del 90% de los días del año se presenten valores superiores a lo estipulado en las normas vigentes.

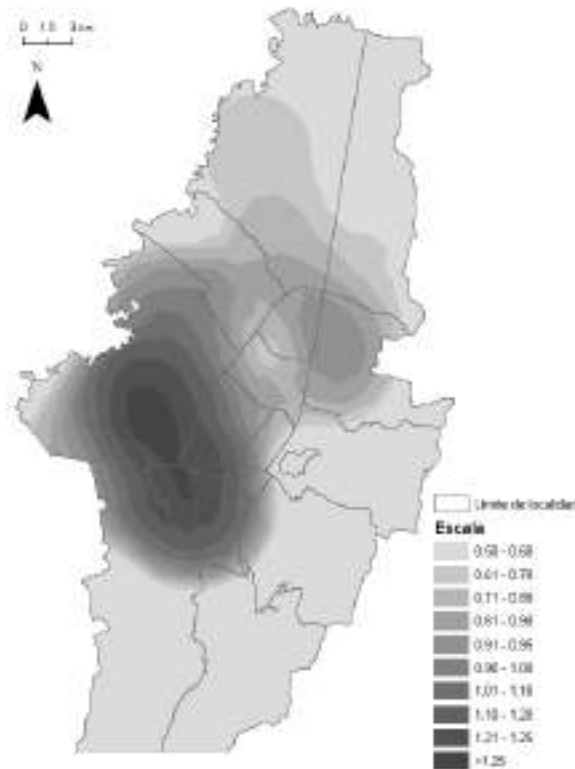


Figura 4. Mapa de iso-concentraciones de PM_{10} en Bogotá para el año 2008.

NOTA: La escala de grises representa el nivel de cumplimiento/incumplimiento de la norma anual (1.0 significa que el promedio anual fue equivalente al valor de la norma anual).

Desde el año 2006 se han declarado zonas de no cumplimiento por los altos niveles de material particulado en diferentes áreas de la ciudad. Mediante el Decreto 174 de 2006, se declararon las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón como áreas fuente de contaminación Clase I por PM_{10} . Posteriormente, a través del Decreto 417 de 2006 se declararon las localidades de Rafael Uribe Uribe, Engativá, Tunjuelito, Bosa, algunas áreas localizadas en Suba y en Ciudad Bolívar, entre otras zonas, como áreas fuente Clase I por los altos niveles de PM_{10} y PST y registrados en dichas zonas.

La discusión anterior demuestra que el material particulado es el contaminante más crítico para la ciudad de Bogotá. La excedencia de la norma para este contaminante ha sido recurrente en los últimos años. Si bien la zona centro-occidental de la ciudad es la región en la que se presentan mayores excedencias a la norma de PM, en toda la ciudad se registran niveles relativamente altos en comparación con los valores establecidos por la normativa nacional.

4.2. Niveles de Exposición Personal

La literatura científica demuestra que los registros de las estaciones fijas de monitoreo de calidad del aire no necesariamente son representativas de las condiciones reales de exposición de la población. Como consecuencia de una mayor cercanía a las fuentes de emisión, los niveles de contaminación a los que se exponen las personas en los diferentes microambientes en los que pasa la mayoría del tiempo (v.g., espacios intramurales como viviendas y oficinas, cabinas de vehículos de transporte individual y cabinas de vehículos de transporte público) suelen ser superiores a los niveles registrados por las estaciones de las redes de monitoreo.

Según estudios realizados para la ciudad de Bogotá (Behrentz et al., 2006; Espinosa et al., 2007) los niveles de concentración de PM a los que se expone la población en cercanía a las vías (v.g., aceras, paraderos de buses del sistema tradicional y estaciones de Transmilenio) superan de manera significativa los valores establecidos por la normativa nacional.

Estos estudios sugieren que la población también se ve expuesta a elevados niveles de contaminación al interior de la cabina de los vehículos. Dichos niveles son el resultado no sólo de la auto-contaminación sino también de la intrusión de los gases de escape producidos por los vehículos que transitan en los alrededores. En Bogotá, al interior de vehículos de la ciudad (incluyendo buses del sistema de transporte público colectivo y masivo, vehículos livianos públicos y privados) se han reportado niveles de concentración de CO y PM que se consideran elevados y que según la OMS se encuentran asociadas con efectos negativos en la salud de las personas expuestas.

4.3. Inventario de Emisiones y Proyección de Emisiones

El inventario de emisiones para el año base (2008) se presenta en la Tabla 1 (la metodología detallada se presenta en la Parte B del documento final del PDDb). Según dicho inventario las industrias aportan más del 40% de las emisiones para PM. Para NO_x, THC, CO y CO₂ el aporte de las fuentes móviles es significativamente mayor respecto al aporte del sector industrial.

Tabla 1. Inventario de emisiones para el año base (2008).

Contaminante	Emisión (Ton/año)		
	Fuentes móviles	Fuentes fijas	Total
PM	1,400 ± 400	1,100 ± 120	2,500 ± 500
NO _x	54,000 ± 7,000	2,100 ± 190	56,000 ± 7,000
THC	62,000 ± 8,000	100 ± 5	62,000 ± 8,000
CO	490,000 ± 50,000	800 ± 130	490,000 ± 50,000
CO ₂	6,000,000 ± 300,000	1,000,000 ± 50,000	7,000,000 ± 340,000

NOTA: Las emisiones presentadas en la Tabla 1 incluyen contaminantes primarios, generados en procesos de combustión (emisiones emitidas por las chimeneas para el caso de las industrias y por los tubos de escape en el caso de las fuentes vehiculares). No se consideran las emisiones debidas a los procesos productivos, fuentes de área, fuentes naturales de emisión, resuspensión, ni emisiones evaporativas de los vehículos. Los valores se presentan aproximados.

Según la proyección de las emisiones para el escenario tendencial, las emisiones del sector industrial en el año 2020 serían alrededor de 1.6 veces mayores que las emisiones en el año base. Para el sector de transporte, los contaminantes que presentan mayor crecimiento respecto a las emisiones del año base son el material particulado (~80%) y el dióxido de carbono (más del 100%) (ver figuras 5 y 6).

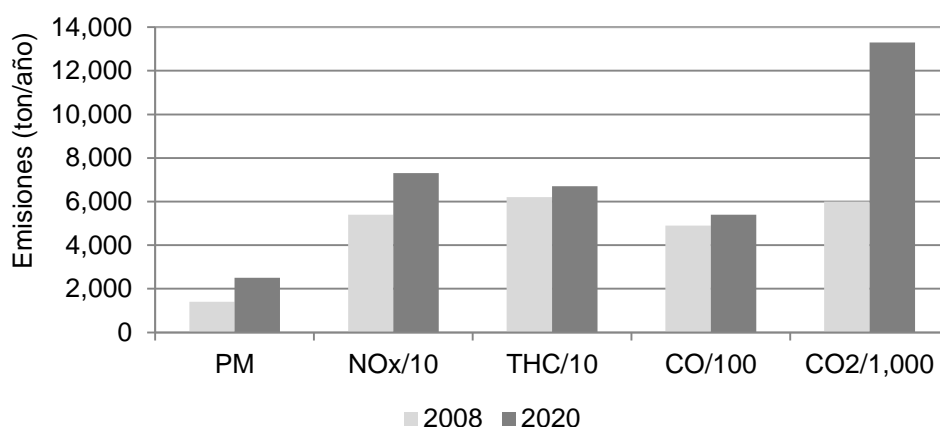


Figura 5. Proyección de las emisiones de fuentes móviles para el horizonte 2008-2020.

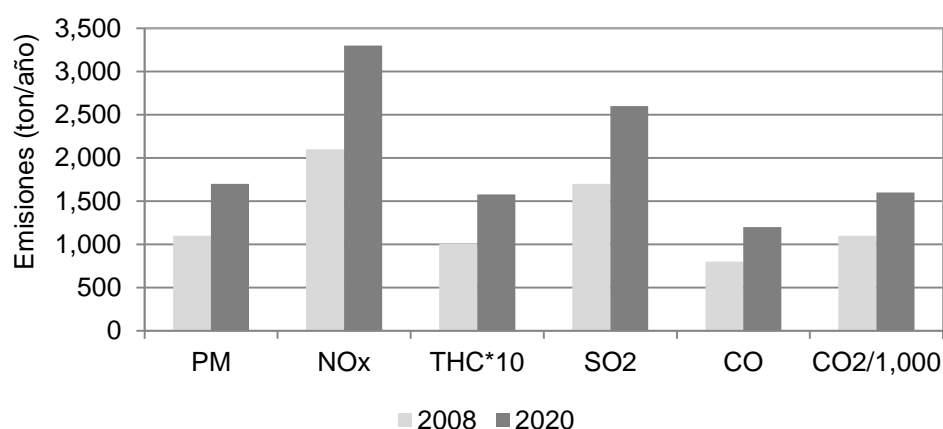


Figura 6. Proyección de las emisiones de fuentes fijas para el horizonte 2008-2020.

La proyección del crecimiento de las emisiones anuales totales de PM indica que de no hacer nada en el año 2020 éstas habrán crecido alrededor del 70% respecto al año 2008, siendo el contaminante criterio que presenta el mayor crecimiento en las emisiones anuales en comparación con el año base.

Por otra parte, se estima que el crecimiento de las emisiones de CO y COT para este mismo periodo será del 10% aproximadamente y el de las emisiones de NO_x de alrededor del 35%. Por último, se estimó un crecimiento de más del 100% para las emisiones anuales de CO₂ bajo este mismo escenario.

NOTA: Para mayores detalles acerca del inventario de emisiones y las proyecciones del mismo se deben consultar las secciones 1 y 2 del Documento de Trabajo del PDDB.

5. ARTICULACIÓN ENTRE METAS, ESTRATEGIAS Y PROYECTOS DEL PLAN

5.1. Metas y Propósito del Plan de Descontaminación

El principal objetivo del PDDB 2010-2020 es el establecimiento de un programa integral de descontaminación del aire que permita que en la totalidad de la zona urbana del Distrito Capital se logre el cumplimiento de la norma nacional de calidad del aire establecida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial así como la observancia de la Política Nacional de Calidad del Aire emitida por la misma institución. Dado el contexto local, en el cumplimiento de esta meta se hará especial énfasis en material particulado y ozono.

Se espera que el PDDB sea remitido al Concejo de Bogotá para que después de las discusiones y revisiones que se deriven del estudio del mismo, este plan sea adoptado formalmente como la política distrital ambiental para mejorar la calidad del aire en la ciudad.

Se debe resaltar nuevamente que el éxito en la implementación del PDDB, a través de los proyectos aquí formulados, no puede garantizarse si no se cuenta con el concierto de los diferentes sectores involucrados tanto a nivel del gobierno distrital y nacional así como de los gremios privados cobijados por el mismo.

5.2. Estrategias del Plan de Descontaminación

La estrategia general del PDDB se encuentra basada en una serie de programas de control y reducción de emisiones aplicables a las diferentes fuentes (vehiculares e industriales) de acuerdo a sus propias características así como de acuerdo al contaminante de interés. En este sentido se plantean ambiciosas metas individuales para cada proyecto de reducción de emisiones con el fin de alcanzar el propósito global descrito en párrafos anteriores.

Los proyectos para la lograr la reducción de emisiones que se describen en la siguiente sección se basan en la aplicación de todas las medidas tecnológicas y de gestión que se encuentran disponibles y que en su conjunto logran cumplir con el propósito general del PDDB. Dichas medidas corresponden a una estrategia integral e interinstitucional al interior del distrito que sea liderada por el SDA pero que debe ser acompañada por un esfuerzo integrador por parte de la Secretaría de Gobierno.

Las medidas sugeridas para el caso específico de Bogotá incluyen fundamentalmente al sector industrial y de transportes y consideran componentes de calidad de combustibles, mejoramiento tecnológico, mayores controles a las fuentes de emisión, capacitación y acompañamiento, legislación, y estrategias de comando y control.

En particular se hacen recomendaciones respecto a la renovación del parque automotor y de los sistemas de combustión utilizados por el sector industrial, el establecimiento de políticas aun más exigentes en lo que se refiere a calidad de combustibles tanto para fuentes fijas como para fuentes móviles, y el establecimiento de programas de seguimiento y control de la reglamentación sobre calidad de combustibles en los distribuidores de la ciudad.

La estrategia general también incluye el concepto de obligatoriedad respecto al uso de sistemas de control de emisiones para vehículos diesel así como para grandes hornos y calderas, la promoción de buenas prácticas de conducción en vehículos así como de operación de sistemas de combustión de tipo industrial.

Se resalta también la importancia del fortalecimiento y mejoramiento de los mecanismos de comando y control tanto para fuentes fijas como para fuentes móviles así como la utilización de instrumentos e incentivos económicos y tributarios. Se incluyen proyectos concretos en lo que se refiere a ordenamiento y optimización del sistema de transporte público de la ciudad así como recomendaciones en lo que se refiere a mejoramiento de la infraestructura vial de la ciudad, desde pavimentación de calles hasta intervenciones mayores que mejoren el flujo vehicular y aumenten la velocidad media de los vehículos.

El PDDB incluye proyectos de promoción del uso del gas natural en las industrias así como de la formalización de actividades al interior del sector industrial. Se menciona también el fortalecimiento y expansión de programas de acompañamiento a los sectores generadores de emisiones y se recomienda la utilización de sistemas de información que de forma automática y controlada sirvan para el reporte de los resultados de las pruebas de emisiones aplicadas tanto al sector transporte como al sector de fuentes fijas. Finalmente, se destaca la importancia de una estrategia a nivel distrital en el tema de educación ambiental.

Dado el estado del arte y la situación actual de contaminación en la ciudad, la estrategia del PDDB en lo que se refiere a material particulado hace énfasis en fuentes primarias para la totalidad de las medidas de mitigación que lo conforman. Este es un tema a revisar a medida que avance el plan de tal forma que futuras administraciones puedan establecer metas aun más ambiciosas que incluyan el componente de formación secundaria para el contaminante en mención. Esto último puede llegar a ser un requerimiento práctico si la evolución futura de la norma nacional de calidad del aire se ve reflejada en estándares más exigentes que los vigentes en la actualidad.

5.3. Proyectos y Medidas del Plan de Descontaminación

El listado de proyectos y medidas complementarias que conforman al PDDB se discute en detalle en las páginas siguientes. Para cada uno de los proyectos se resumen los aspectos más importantes incluyendo su descripción, modos de aplicación, tiempo de implementación, efectos en el inventario de emisiones y en la calidad del aire, beneficios en exposición personal, impactos sobre otros sectores diferentes a la calidad del aire, costo total, efectividad de costo (costo por unidad de tonelada reducida de un contaminante), actores y sus roles, instrumentos y herramientas de apoyo para las medidas (normativa, políticas, instrumentos financieros) y barreras identificadas para llevar a cabo los proyectos de reducción de la contaminación.

La información completa sobre los resultados y la metodología de análisis empleada en la evaluación de las medidas/proyectos se presenta en el Documento de Trabajo del PDDB.

6. ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS Y MEDIDAS

En este capítulo se presentan las medidas/proyectos que fueron analizadas como parte del PDDB. Se incluyen la totalidad de las medidas (y sus variaciones) que hicieron parte del proceso de optimización (ver detalles en la Sección 3 del Documento de Trabajo).

Las medidas evaluadas para el sector industrial incluyen: conversión de carbón a gas natural, conversión de carbón a gas natural suponiendo además que una fracción de la industria informal pasa a ser parte del sector formal, uso de sistemas de control de emisiones y uso de sistemas de control de emisiones en la industria del sector ladrillero considerando reubicación de fuentes. Para el sector de transporte se analizaron las siguientes opciones: reemplazo de convertidores catalíticos en la flota de transporte privado, renovación de la flota de transporte privado, uso de sistemas de control de emisiones en motocicletas y vehículos de carga, implementación del SITP con mejoras ambientales y uso de sistemas de control de emisiones en los vehículos de transporte público.

Además de las medidas que se presentan en esta sección, existe un grupo de medidas y recomendaciones complementarias para el PDDB. Estas medidas no fueron valoradas en términos de costo efectividad, pero las mismas se consideran relevantes para la exitosa implementación del plan (ver Sección 8).

Los proyectos y medidas se diseñaron con base en los lineamientos técnicos del plan decenal de descontaminación (SDA-SUR, 2008) así como teniendo en cuenta planes de descontaminación de otras ciudades del mundo.

NOTA: Los resultados presentados en este capítulo hacen referencia exclusiva a los impactos esperados como consecuencia directa de la implementación de las medidas en discusión. Para todos estos casos, el horizonte de diseño es el mismo del plan en su totalidad (2008-2020) y para ilustrar los impactos en referencia se supone que todas y cada una de las medidas tienen inicio en el 2008. Este formato tan solo aplica al presente capítulo ya que los resultados finales del plan y el portafolio de proyectos seleccionado por la rutina de optimización implica no solo el proyecto y su modo de implementación sino también los tiempos de inicio y finalización de las medidas (ver Capítulo 7).

6.1. Sector Industrial

6.1.1. *Conversión de Carbón a Gas Natural – FF1*

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes fijas.
- b. **Categoría:** Hornos y calderas que utilizan carbón como combustible. Según las categorías definidas en el inventario de emisiones, se verían afectadas por la medida las industrias que cuentan con las siguientes tecnologías: horno a carbón (HC); horno ladrillero a carbón (HL); caldera a carbón con capacidad superior a 100 BHP (CC1) y caldera a carbón con capacidad menor o igual a 100 BHP (CC2).
- c. **Descripción:** Según los resultados del inventario de emisiones del sector industrial de la ciudad, las fuentes que utilizan carbón como combustible tienen una participación superior al 80% en las emisiones de material particulado, aún cuando éstas sólo representan alrededor del 10% de las fuentes del sector industrial (ver Sección 2 del Documento de Trabajo).

En esta medida se propone que las industrias que actualmente utilizan carbón se reconviertan hacia el uso de gas natural.

d. Objetivo: Reemplazar el uso de carbón por gas natural en una proporción de las industrias de Bogotá.

e. Variaciones: Se proponen cinco modos de implementación en los que se varía el porcentaje de las industrias que se acogerían a la medida, según como se presenta a continuación:

- Modo 1: Considera que el 10% de las fuentes de las categorías HC, HL, CC1 y CC2 se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural como combustible.

Se propone que se seleccionen las fuentes que tienen mayor aporte en el inventario de PM. Las industrias propuestas tendrían un consumo adicional al año de gas natural cercano al 10%, esto según el requerimiento energético que tienen estas industrias en el año base equivale a 22 millones m³ adicionales.

- Modo 2: Considera que el 40% de las fuentes de las categorías HC, HL, CC1 y CC2, se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural como combustible.

Se propone que se seleccionen las fuentes que tienen mayor aporte en el inventario de PM. Las industrias propuestas tendrían un consumo adicional al año de gas natural cercano al 25% (equivale a 60 millones m³ de gas natural adicionales).

- Modo 3: Considera que el 60% de las fuentes de las categorías HC, HL, CC1 y CC2, se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural como combustible.

Se propone que se seleccionen las fuentes que tienen mayor aporte en el inventario de PM. Las industrias propuestas tendrían un consumo adicional al año de gas natural cercano al 30% (82 millones m³ de gas natural adicionales).

- Modo 4: Considera que el 90% de las fuentes de las categorías HC, HL, CC1 y CC2, se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural como combustible.

Se propone que se seleccionen las fuentes que tienen mayor aporte en el inventario de PM. Las industrias propuestas tendrían un consumo adicional al año de gas natural cercano al 50% (125 millones m³ adicionales).

- Modo 5: Considera que el 100% de las fuentes industriales que utilizan carbón como combustible se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural.

Las industrias propuestas tendrían un consumo adicional al año de gas natural cercano al 60% (aproximadamente 155 millones m³ de gas natural adicionales)¹.

f. Tiempo de implementación:

- Modo 1: El periodo de implementación de la medida es de 1 año.
- Modo 2: El periodo de implementación de la medida es de 2 años. Durante cada año de este periodo se implementará gas natural en el 20% de las fuentes que actualmente utilizan carbón.
- Modo 3: El periodo de implementación de la medida es de 3 años. Durante cada año de este periodo se implementará gas natural en el 20% de las fuentes que actualmente utilizan carbón.

¹ Según la información recolectada en campo en la fase anterior del proyecto (SDA, SUR; 2008) el consumo de gas natural del sector industrial de la ciudad del año 2008 fue de alrededor de 250 millones de m³.

- Modo 4: El periodo de implementación de la medida es de 5 años. Durante cada año de este periodo se implementará gas natural en el 18% las fuentes que actualmente utilizan carbón.
- Modo 5: El periodo de implementación de la medida es de 6 años. Durante cada año de este periodo se implementará gas natural en el 17% las fuentes que actualmente utilizan carbón.

g. Impacto en el inventario de emisiones: En las figuras FF1.A a FF1.E se presenta el impacto de la medida en el inventario de emisiones de fuentes industriales. Con el fin de presentar los modos de implementación de manera comparativa, se presentan los resultados suponiendo que la medida en todos los casos se empieza a implementar en el año 2012.

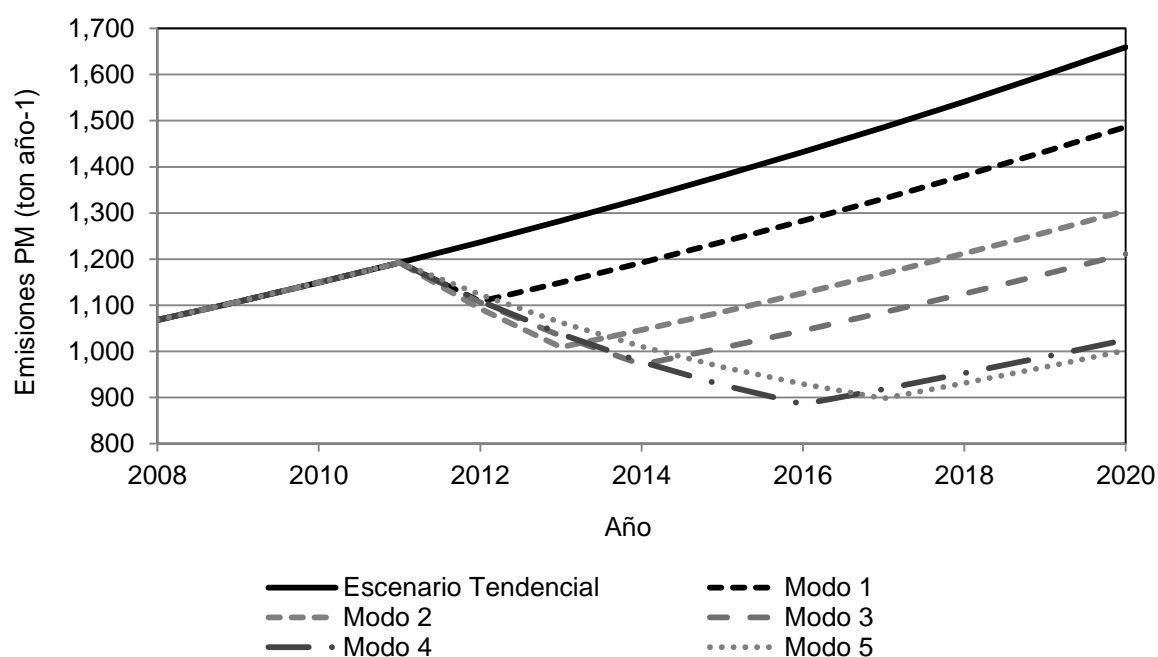


Figura FF1.A. Emisiones de PM del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

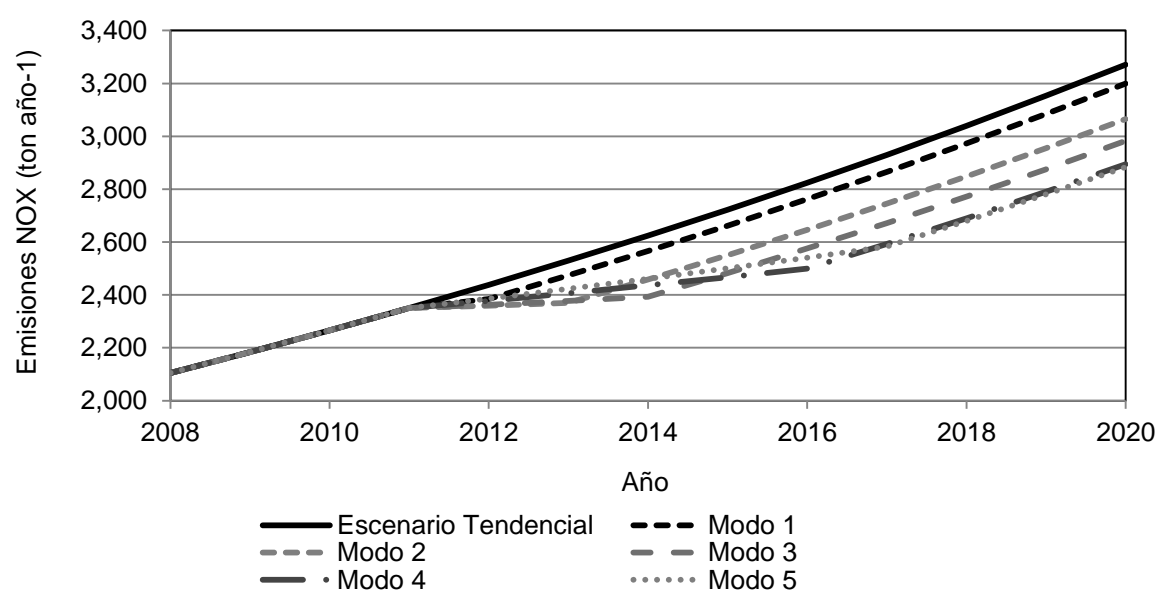


Figura FF1.B. Emisiones de NO_x del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

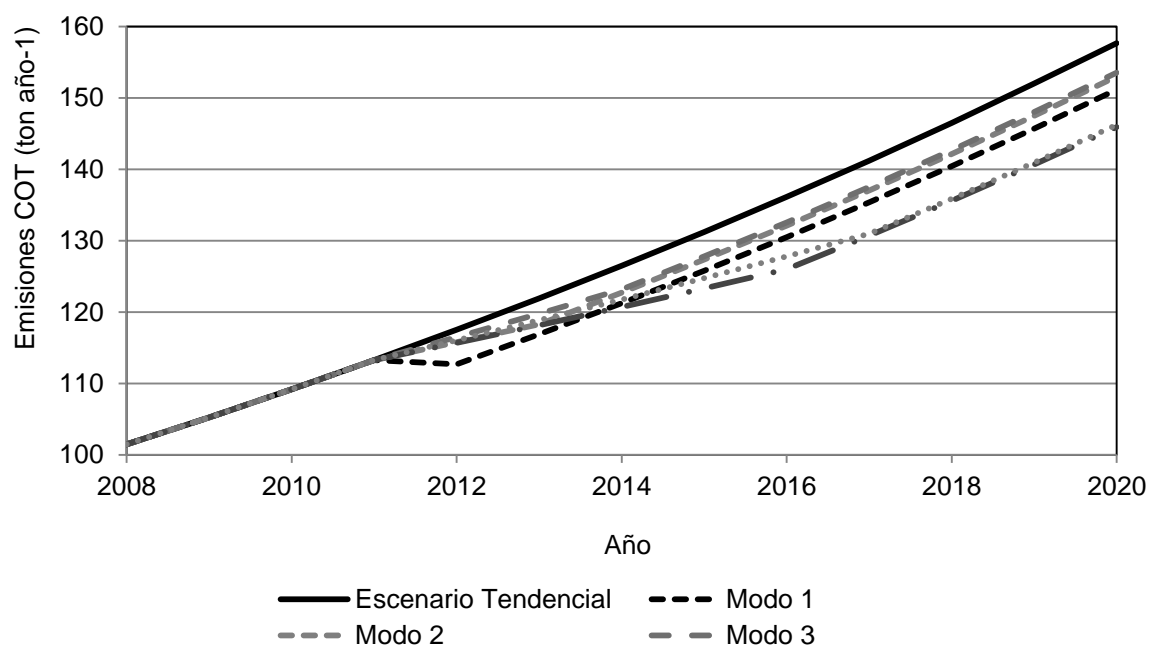


Figura FF1.C. Emisiones de COT del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

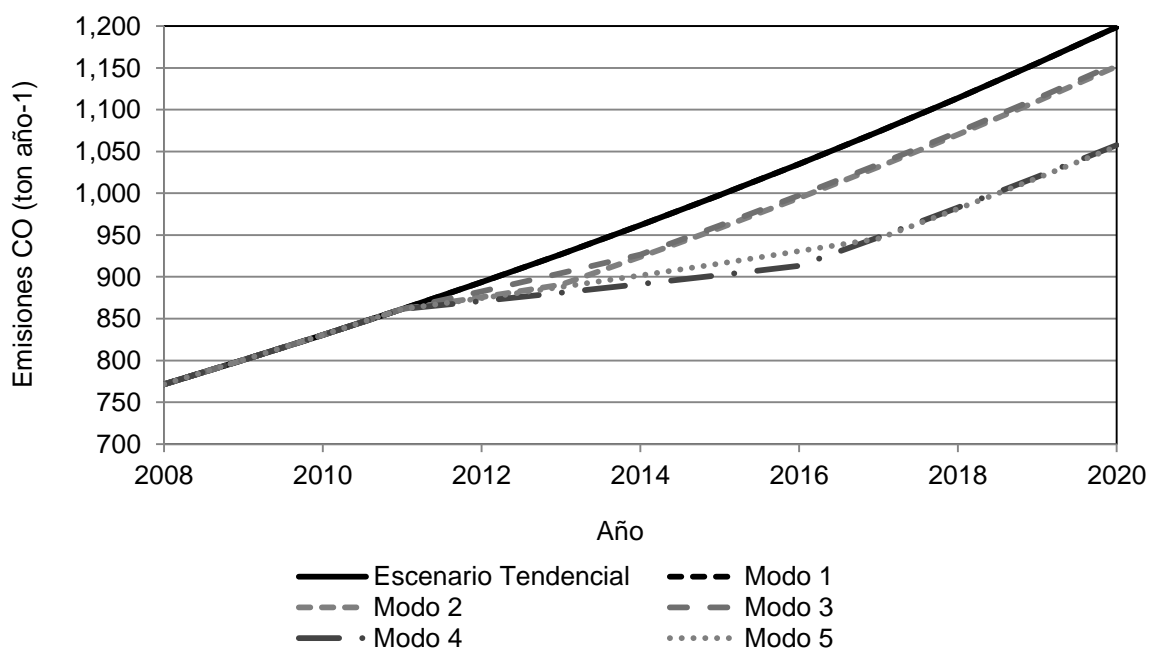


Figura FF1.D. Emisiones de CO de las categorías HC, HL, CC1 y CC2 en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

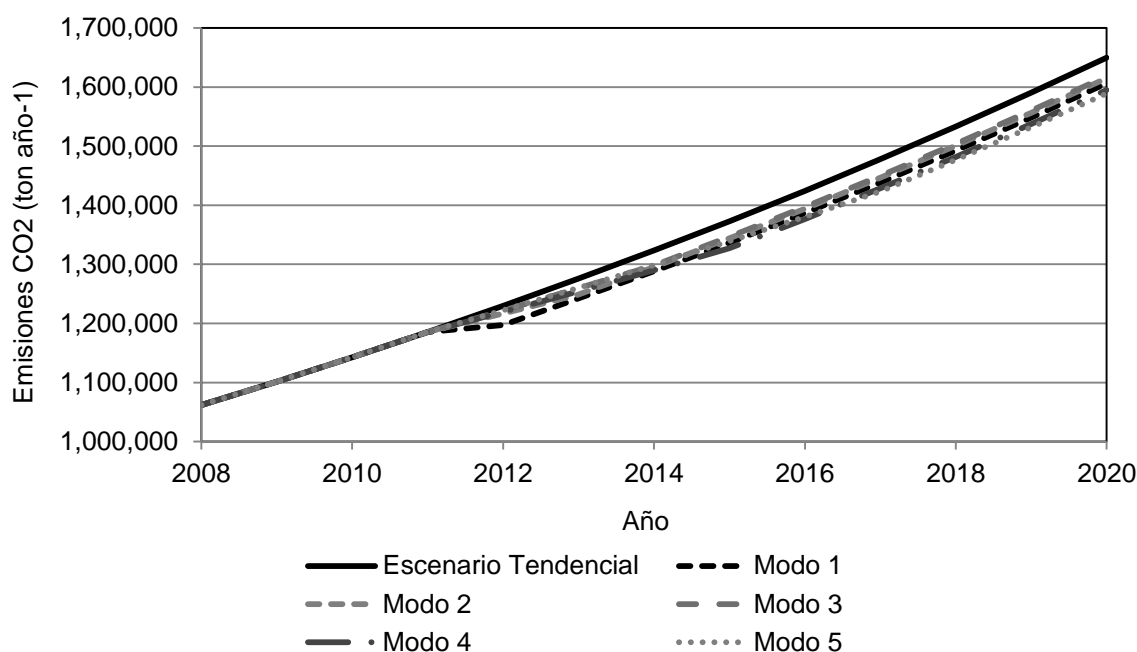


Figura FF1.E. Emisiones de CO₂ del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

- h. Impacto sobre la calidad del aire:** En la Tabla FF1.A se presenta el impacto que tendría la aplicación de esta medida en la concentración de PM en el año 2020. Este valor se determinó a partir del cambio que se tendría en el inventario total de PM en la ciudad con la introducción de la medida respecto al escenario tendencial. El porcentaje de reducción de emisiones que se presenta se estimó respecto al inventario total de fuentes fijas en el escenario tendencial para el año 2020.

Tabla FF1.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.

Modo de implementación	Reducción en la emisión de PM año 2020	Reducción en la concentración de PM año 2020
Escenario tendencial	N.A	N.A
Modo 1	10%	3%
Modo 2	21%	6%
Modo 3	27%	7%
Modo 4	38%	10%
Modo 5	40%	11%

i. Beneficios en exposición personal:

- Para el Modo 1 los beneficios en exposición personal son bajos debido a que relativamente pocas fuentes se ven afectadas por la medida. El beneficio en exposición personal sería para los operarios de las fuentes y otras las personas que se expongan en cercanías de las industrias.
- Para los modos 2, 3, 4 y 5 los beneficios en exposición personal se consideran medios debido a que se implementa gas natural en un número superior de fuentes, reduciendo así la exposición de un número superior de personas entre las que se incluyen operarios y otras personas que se expongan en cercanías de las industrias.

- j. **Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla FF1.B se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla FF1.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la compra de equipos o conversiones de los mismos (hornos, calderas y equipos complementarios) a gas natural.	Negativo
	Según un estudio (Barros y Cadena, 2004) acerca de la competitividad del gas natural frente a sus combustibles sustitutos desarrollado para la zona central del país, el gas natural es más competitivo en los costos de operación y mantenimiento en comparación con el carbón (ver Sección 2 del Documento de Trabajo del PDDDB). Este aspecto podría ser un incentivo económico para la industria.	Positivo
	Cambiar de carbón a gas natural puede traer consigo una mejora en la calidad los productos terminados, y por lo tanto significar mejoras en términos de competitividad.	Positivo
Social	Pérdida de empleos debido a que la operación de los equipos a gas natural puede reducir el número de empleados necesarios al tener ventajas en la operación (v.g., suministro continuo de combustible).	Negativo
	Generación de empleo relacionada con los cambios en infraestructura, construcción, adquisición e instalación de los equipos para operar con gas natural.	Positivo
	Mejora para los operarios en cuanto a las condiciones de operación de la industria, específicamente en lo relacionado con la alimentación de hornos y calderas con carbón.	Positivo
	Alto impacto social sobre el sector de extracción de carbón.	Negativo
Educación	Oportunidad de educación para los operarios de las industrias, como consecuencia del cambio tecnológico.	Positivo

- k. **Análisis de costos:** En la Tabla FF1.C se presenta el costo total para los cinco modos de implementación evaluados. En la Tabla FF1.D se presenta el costo por tonelada de PM reducida.

Tabla FF1.C. Costo total.

Modo de implementación	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	9,700
Modo 2	25,100
Modo 3	35,800
Modo 4	54,500
Modo 5	64,100

Tabla FF1.D. Costo por tonelada de PM reducida.

Modo de implementación	Costo por tonelada de PM (millones de pesos/ton PM) ^{2,3}
Modo 1	7
Modo 2	9
Modo 3	11
Modo 4	13
Modo 5	16

- I. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla FF1.E. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de implementación de la medida. – Liderar el proceso de concertación entre actores.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> – Entidad mediadora con el gobierno central. – Entidad revisora y asesora de las industrias afectadas acerca de los instrumentos financieros existentes y sobre el proceso de aplicación a los mismos.
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Realizar actividades de control y seguimiento a la medida.
Secretaría Distrital de Salud	<ul style="list-style-type: none"> – Socializar el resultado de los estudios en salud realizados relacionados con la contaminación del aire, como parte del proceso de concientización hacia los diferentes sectores.
Cámara de Comercio de Bogotá	<ul style="list-style-type: none"> – Prestar servicios de asesoría técnica y financiera al sector de la industria hacia el cual se dirige la medida. – Socializar los resultados de otras empresas locales que en el pasado se hayan acogido al cambio tecnológico de carbón hacia gas natural. – Apoyar en conjunto con el MAVDT el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan realizar el cambio tecnológico en cada industria.
SENA	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de capacitación de operarios.
Ministerio de Minas y Energía	<ul style="list-style-type: none"> – Dar a conocer a los empresarios los planes del gobierno a largo plazo relacionados con el abastecimiento y las reservas de gas natural. – Apoyar la implementación de la medida. – Dar la información confiable acerca de la capacidad en el suministro de gas natural y comprometerse con el sector industrial a cumplir los planes establecidos por el gobierno a mediano y largo plazo. – Garantizar el suministro robusto de gas natural.
Comisión reguladora de energía y gas	<ul style="list-style-type: none"> – Como entidad encargada de la regulación de la prestación de los servicios relacionados con el gas natural, apoyar todas las etapas de implementación de la medida y prestar asesoría en los temas de su competencia.

² Este costo se estimó como el costo total de la medida sobre las toneladas de PM reducidas en el periodo de análisis del plan. Esto corresponde a la metodología utilizada para la estimación de curvas de abatimiento de CO₂ en estudios de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

³ Estos resultados son consistentes con el orden de magnitud de los costos de las medidas de otros planes de descontaminación en donde se reportan valores entre 20 y 40 millones de pesos por tonelada de PM reducida para medidas de reducción de emisiones de fuentes industriales (CARB, 2007).

Tabla FF1.F. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Representantes del gremio industrial: ANDI, Andesco, ACOPI, FENALCO	– Apoyar el proceso de concertación entre sectores.
Empresas del sector de gas natural (e.g., Natargas, Promigas)	– Suministrar información al sector acerca de las garantías en el suministro y acerca del abastecimiento en las diferentes zonas de la ciudad. – Suministrar información acerca de los planes del sector a largo plazo.
Empresarios del sector industrial que utiliza carbón	– Exigir a entidades del sector público asesoría técnica y financiera acerca de la reconversión hacia el uso de gas natural. – Participar en las actividades de concertación con las entidades representantes del gobierno distrital. – Exigir actividades de concientización y educación acerca de los beneficios financieros y en competitividad que podrían obtener por acogerse a la medida.
Centro Nacional de Producción más Limpia	– Dar asesoría acerca de las posibilidades de financiación que maneja el centro en sus proyectos. – Apoyar la divulgación de casos exitosos de cambio de combustible en las industrias del país.

Tabla FF1.G. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	– Servir como revisores mediante los instrumentos que tiene la ciudadanía para hacer parte de los procesos de toma de decisiones en el Distrito. – Exigir al gobierno el desarrollo de medidas enfocadas a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

m. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:**1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:**

- Plan Nacional de Desarrollo: En este se establece que se desarrollarán medidas para prevenir la contaminación atmosférica.
- Conpes 2571: El "Programa para la masificación del consumo del gas" descrito en el documento Conpes 2571, establece como uno de sus objetivos la utilización masiva de gas en el sector industrial.
- Plan Energético Nacional 2006-2020: En este se plantea la continuación del programa de masificación del gas natural.
- Política Nacional de Producción más limpia: La medida aquí propuesta es consistente con los objetivos de la Política Nacional de Producción más limpia. Hacen parte de los objetivos de esta política: 1) Aumentar la eficiencia energética y utilizar energéticos más limpios; 2) Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes; 3) Prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas; 4) Adoptar tecnologías más limpias y prácticas de mejoramiento continuo de la gestión ambiental.
- Resolución 909 de 2008: Normas y estándares de emisión para fuentes fijas.
- Establecimiento de áreas fuente de contaminación en Bogotá: Decreto 174 de 2006, Decreto 417 de 2006.
- Resolución 182074 de 2009: Por medio de esta norma se establece la prioridad en el abastecimiento de gas natural en las épocas de racionamiento.
- Protocolo para el control y la vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, adoptado mediante la Resolución 650 de 2010, en el cual se establecen

los procedimientos de evaluación de emisiones y de vigilancia y control para las fuentes fijas.

- Convenio de Reconversión a Tecnología Limpia: Las industrias pueden aplicar a la suscripción de un Convenio de Reconversión a Tecnología Limpia según lo establecido por el MAVDT.
2. Instrumentos financieros disponibles: A continuación se mencionan instrumentos financieros existentes en el país que por sus características podrían apoyar la implementación de la medida.
- Recursos de financiamiento para proyectos de uso racional y eficiente de energía- Proyectos URE definidos por la Ley 697 de 2001.
 - Incentivos nacionales establecidos a través del convenio de Producción Más Limpia (PEN, 2007).
 - Línea de crédito ambiental del Centro Nacional de Producción Más Limpia, la cual tiene la finalidad de aumentar las inversiones en tecnologías más limpias que busquen un impacto positivo sobre el medio ambiente así como incrementar el desarrollo sostenible en el país.
 - Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (FOMIPYME), el cual otorga cofinanciación para desarrollo tecnológico.
 - Fonade como línea de financiación de proyectos para fortalecimiento empresarial bajo principios de asistencia técnica e innovación tecnológica, que incluye implementación de proyectos de reconversión industrial e implementación de nuevas tecnologías.
 - Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Decreto 3172 de 2003 para deducción de renta y Decreto 2532 de 2002 para IVA, pero no aplica para cumplir los niveles de emisión establecidos por la legislación sino para lograr niveles adicionales a los obligados por la normativa en reducción de emisiones.
3. Necesidad de creación de instrumentos financieros: Adicionalmente a los mecanismos financieros disponibles, el Plan Energético Nacional 2003-2020 plantea las siguientes estrategias para impulsar el plan de masificación del gas: **1)** Aprovechar los beneficios ambientales de este combustible mediante la inclusión de tasas retributivas de tipo ambiental; **2)** Acceder a financiación blanda ofrecida por entidades internacionales que apoyan la producción más limpia; **3)** Creación de instrumentos fiscales de reducción de impuestos y aranceles para tecnologías limpias, dentro del marco de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio.
4. Otros:
- Crear capacidad técnica en las entidades encargadas de dar asesoría técnica y financiera a las empresas participantes en la medida.
 - Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida para el sector industrial afectado.
 - Necesidad de creación programas de participación ciudadana en las zonas de la ciudad en las que se presente la mayor intervención.
 - Necesidad de fortalecer la coordinación interinstitucional para la implementación de la medida.

n. Barreras:

- Falta de información confiable para el sector industrial acerca de las reservas del gas natural en el país y las posibilidad de importación del mismo. Esta medida requiere un

inversión alta para su implementación, por lo que se considera que la inversión sólo podría sustentarse si existen garantías a largo plazo acerca del abastecimiento de gas natural.

- Falta de garantías en el suministro continuo y la cobertura de las redes de gas natural para el sector industrial de la ciudad. Esta situación ha obligado a que las industrias que actualmente utilizan gas natural tengan sistemas duales. Según los resultados de la fase anterior del proyecto (SDA-SUR, 2008) los sistemas duales son menos eficientes, en términos de emisiones, que los sistemas dedicados.
- Falta de conocimiento acerca de las ventajas que tiene para una industria reconvertirse de carbón hacia gas natural.
- Posibles limitaciones en cuanto a la cobertura de los sistemas de abastecimiento del gas hacia todas las zonas de la ciudad en donde podrían existir potenciales fuentes industriales interesadas en hacer el cambio de tecnología.

- o. Estrategias de implementación de la medida:** Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones que podrían considerarse al momento de definir el esquema de implementación que va a seguirse para desarrollar esta medida (ver resumen en la Figura FF1.F).

Aspectos técnicos:

1. Seleccionar las empresas que harán el cambio de tecnología según el modo de la medida que se vaya a implementar. De las categorías HC, HL, CC1 y CC2 seleccionar las fuentes de mayor aporte al inventario de emisiones de PM.
2. Verificar la existencia de redes de abastecimiento de gas con la capacidad requerida por las industrias seleccionadas o verificar si estas zonas hacen parte de los planes, a corto y mediano plazo, de expansión de redes para distribución de gas natural.

Aspectos financieros:

1. Si es el sector industrial quien debe asumir el costo, entonces iniciar el proceso de búsqueda de instrumentos de financiación disponibles.
2. Crear los incentivos financieros necesarios para impulsar la medida. Por ejemplo, reducción de impuestos, que el Distrito asuma una fracción del costo de la medida, que se ofrezcan subsidios en el gas natural por un periodo o que se cobren tasas ambientales para todos los energéticos que reflejen el impacto ambiental de los mismos favoreciendo el uso de combustibles más limpios.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Para las industrias que no cumplen con los estándares de emisión establecidos en la normativa, podrían eliminarse las sanciones exigidas por ley si estas deciden acogerse a la medida.
2. Hacer más exigentes las sanciones para las industrias que no cumplen con los límites de emisión.
3. Crear otros incentivos que apoyen la implementación de la medida. Por ejemplo, no exigir a estas industrias muestreos isocinéticos durante un tiempo.

Aspectos educativos y de divulgación:

1. Crear programas de educación y divulgación de la medida, para poder obtener aceptación por parte de los sectores involucrados.

NOTA: Es de resaltar que a pesar de las potenciales barreras enunciadas para este proyecto, es posible prever un escenario optimista en lo que se refiere al compromiso del Ministerio de Minas y Energía de garantizar el suministro y distribución del gas natural. Esta afirmación encuentra sustento en la agenda ambiental interministerial firmada en el mes de junio de 2010 entre dicha dependencia y el MAVDT, en la cual se documenta el compromiso explícito de la cartera de energía de no convertirse en una limitante de los planes de descontaminación del aire que están siendo formulados para distintas ciudades del país.

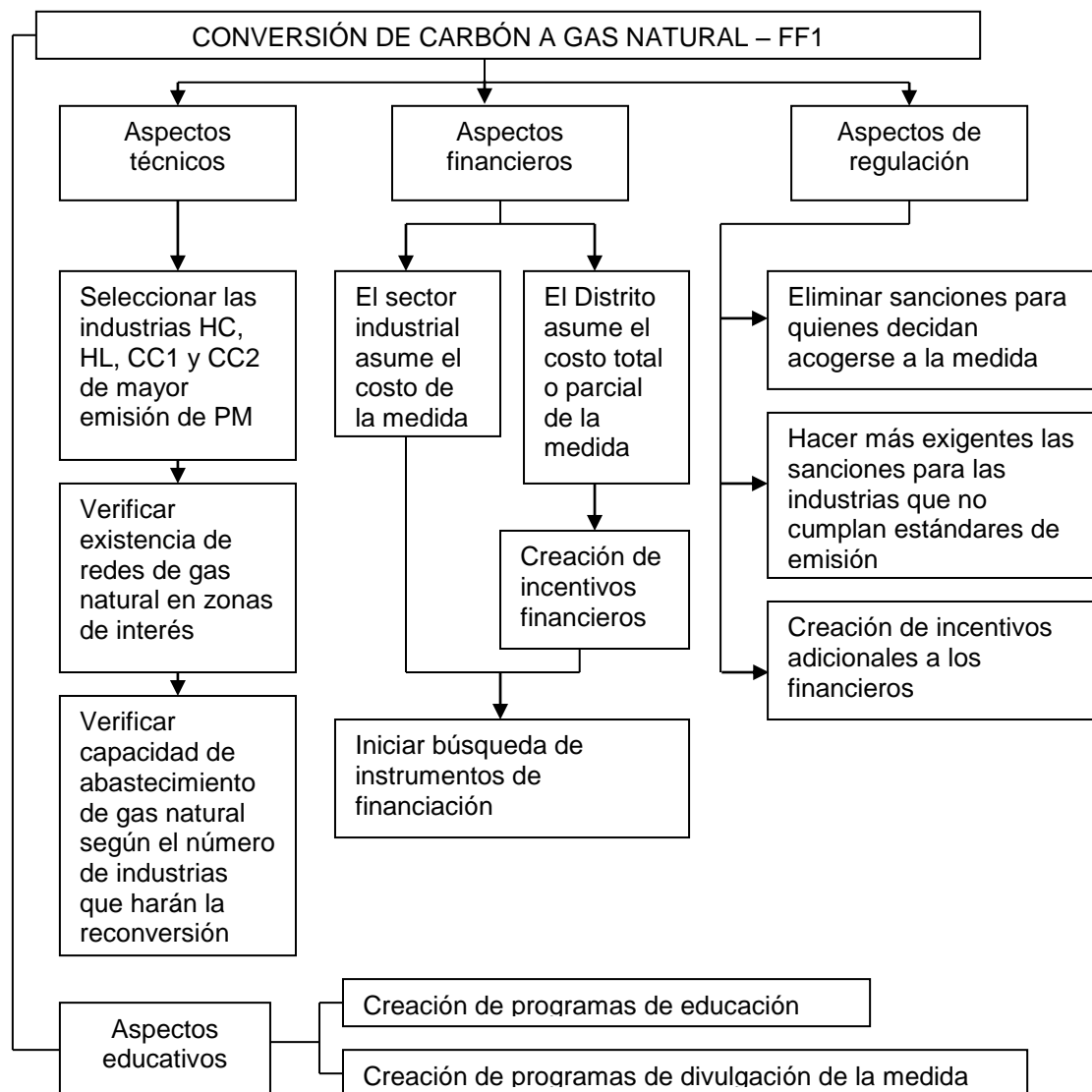


Figura FF1.F. Opciones de implementación de la medida.

6.1.2. *Conversión de Carbón a Gas Natural Suponiendo además la Formalización de una Fracción del Sector Informal de la Industria – FF2*

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes fijas.
- b. **Categoría:** Hornos (HC, HL) y calderas (CC1, CC2) que utilizan carbón como combustible.
- c. **Descripción:** Según los resultados del inventario de emisiones de fuentes fijas en Bogotá (SDA-SUR, 2008) hasta el 30% de las industrias podrían ser del sector informal. En general, estas industrias se caracterizan por el uso de sistemas poco tecnificados y combustibles contaminantes. Esta medida se basa en la medida anteriormente explicada "conversión de carbón a gas natural" y adicionalmente supone que se logra atraer hacia el sector formal al 50% de las fuentes del sector informal. Como resultado de tal estrategia se lograría incrementar el número de industrias reconvertidas a gas natural.
- d. **Objetivo:** Reemplazar el uso de carbón por gas natural en una fracción de las industrias de Bogotá involucrando fuentes del sector informal de la industria.
- e. **Variaciones:** Se proponen los cinco modos de implementación ya definidos para la medida "conversión de carbón a gas natural". Adicionalmente, se atrae al 50% de las fuentes del sector informal y éstas se involucran en los mismos porcentajes de participación establecidos para las fuentes del sector formal.

Debido a que no se cuenta con información acerca del consumo de combustible de las industrias del sector informal, se supuso que éste era proporcional al número de fuentes, según la información que se tiene del inventario de fuentes.

- Modo 1: Considera que el 10% de las fuentes que actualmente no usan gas natural, se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural como combustible.
 - Modo 2: Considera que el 40% de las fuentes que actualmente no usan gas natural, se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural como combustible.
 - Modo 3: Considera que el 60% de las fuentes que actualmente no usan gas natural, se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural como combustible.
 - Modo 4: Considera que el 90% de las fuentes que actualmente no usan gas natural, se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural como combustible.
 - Modo 5: Considera que el 100% de las fuentes que actualmente no usan gas natural, se acogerían a la medida de cambio hacia el uso de gas natural como combustible.
- f. **Tiempo de implementación:** Para todos los modos el tiempo de implementación total de la medida es de 5 años. Se supuso que cada año se logra atraer el 10% del sector informal de la industria. Por otra parte la reconversión hacia gas natural del sector formal se da según los tiempos que se presentan a continuación.
- Modo 1: El periodo de implementación de la medida es de 1 año.
 - Modo 2: El periodo de implementación de la medida es de 2 años. Durante cada año de este periodo se implementará gas natural en el 20% de las fuentes que actualmente utilizan carbón.

- Modo 3: El periodo de implementación de la medida es de 3 años. Durante cada año de este periodo se implementará gas natural en el 20% de las fuentes que actualmente utilizan carbón.
- Modo 4: El periodo de implementación de la medida es de 5 años. Durante cada año de este periodo se implementará gas natural en el 18% las fuentes que actualmente utilizan carbón.
- Modo 5: El periodo de implementación de la medida es de 5 años. Durante cada año de este periodo se implementará gas natural en el 20% las fuentes que actualmente utilizan carbón.

g. Impacto en el inventario de emisiones: En las figuras FF2.A – FF2.E se presenta el impacto de la medida en el inventario de emisiones del sector industrial, considerando los sectores formal e informal de la industria para el escenario tendencial y bajo los diferentes modos de implementación de la medida. Con el fin de presentar los modos de implementación de manera comparativa, se presentan los resultados suponiendo que la medida en todos los casos se empieza a implementar en el año 2012.

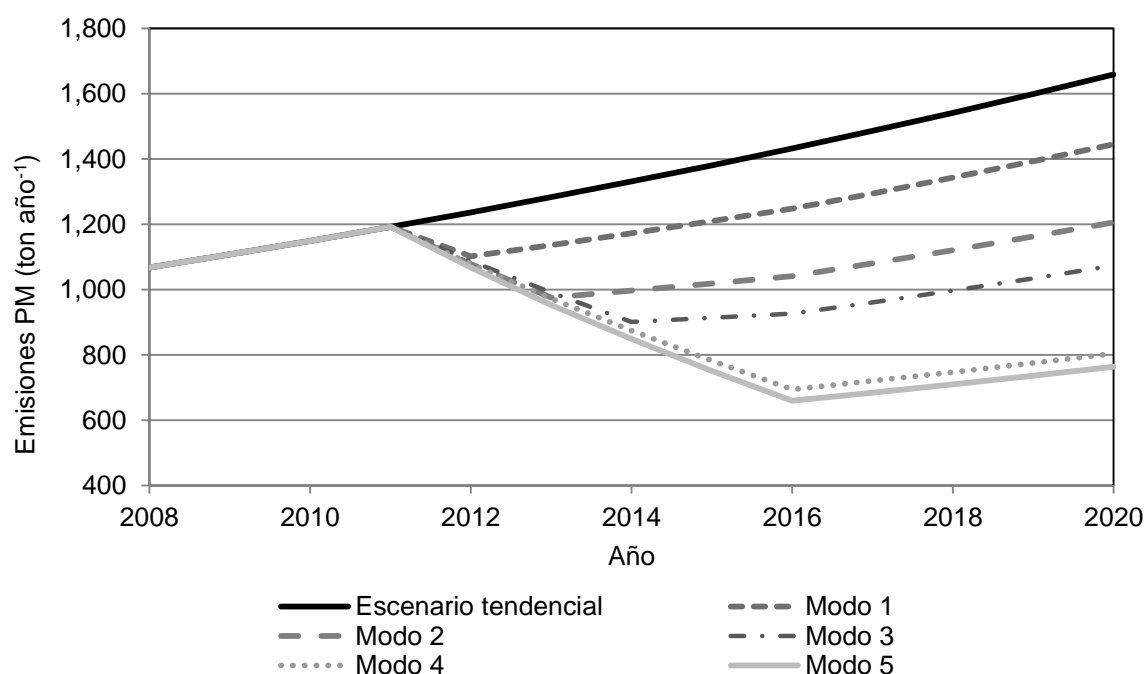


Figura FF2.A. Emisiones de PM del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

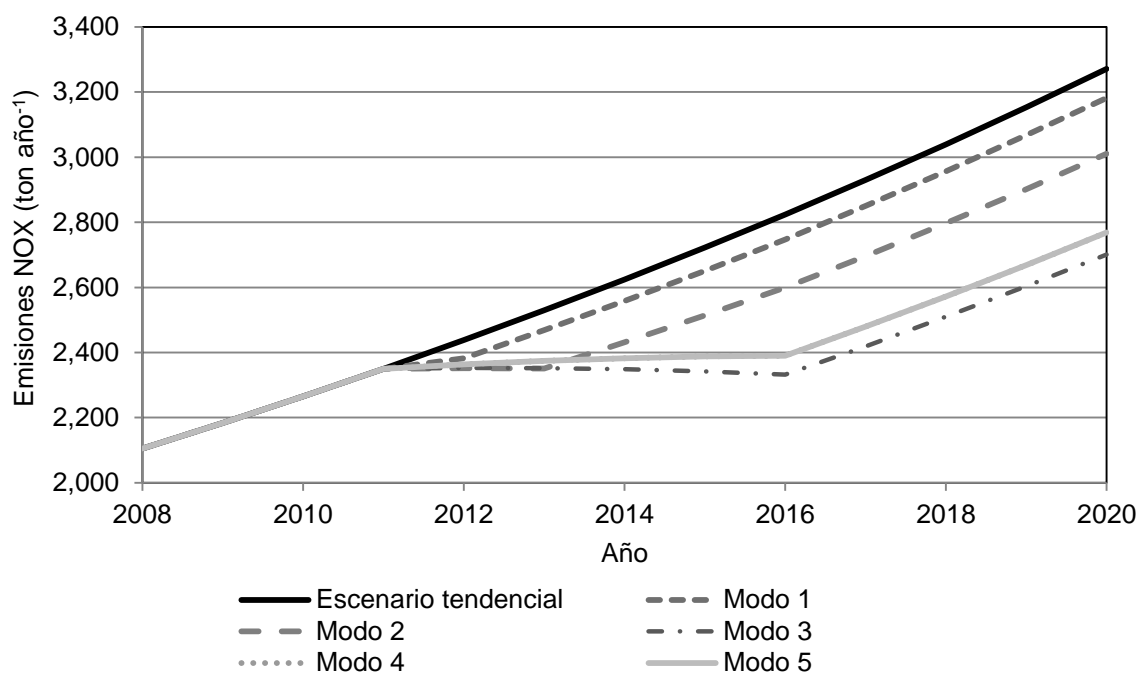


Figura FF2.B. Emisiones de NO_x del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

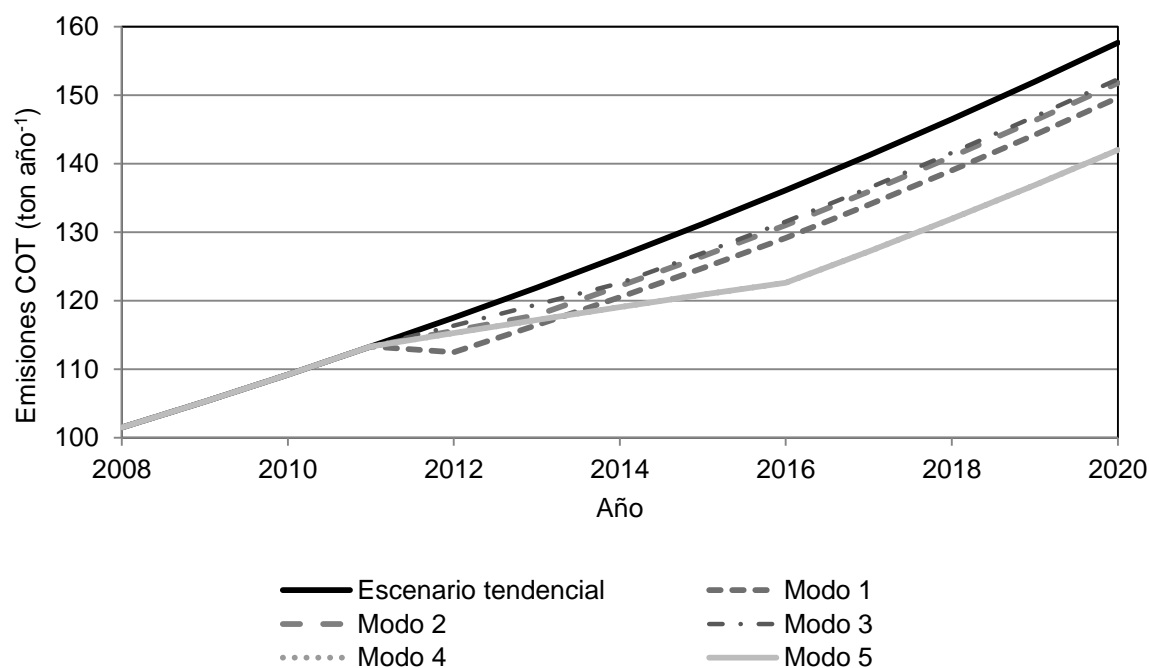


Figura FF2.C. Emisiones de COT del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

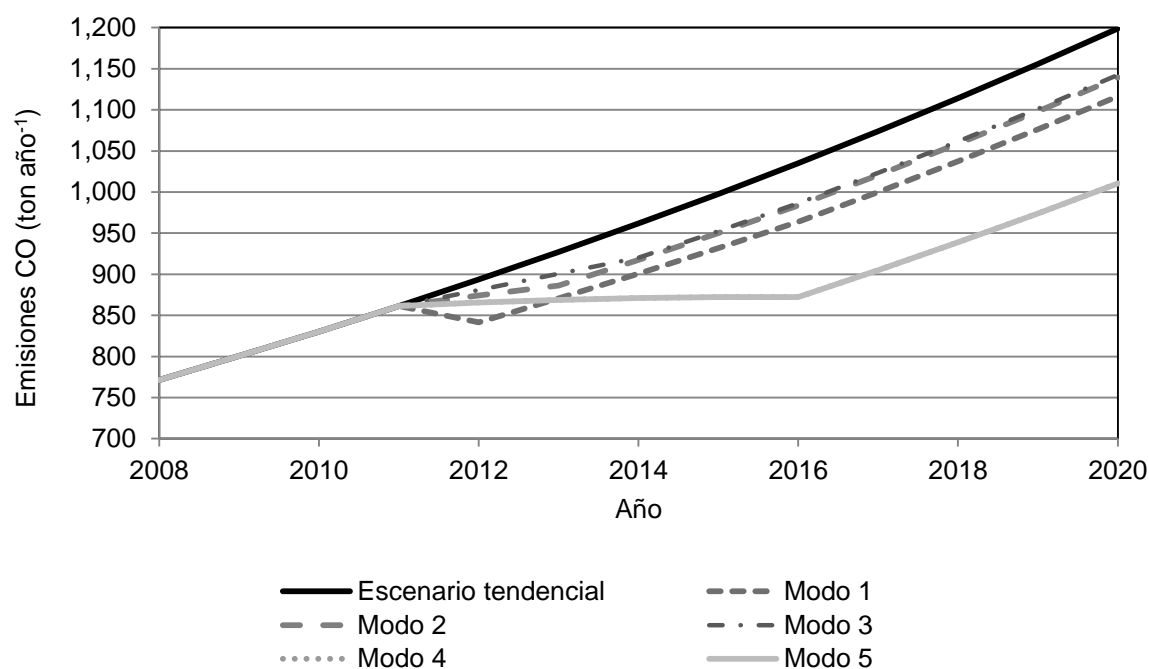


Figura FF2.D. Emisiones de CO del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

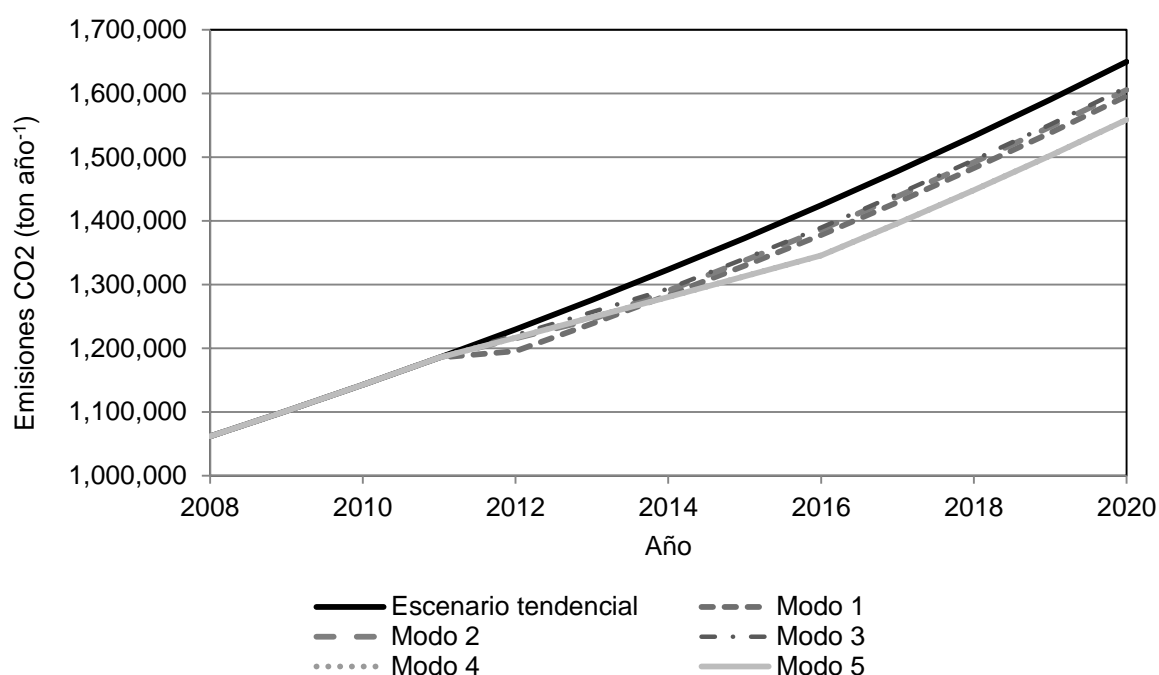


Figura FF2.E. Emisiones de CO₂ del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

- h. Impacto sobre la calidad del aire:** En la Tabla FF2.A se presenta el impacto que tendría la aplicación de esta medida sobre los niveles de PM en la ciudad en el año 2020. El porcentaje de reducción de emisiones que se presenta se estimó respecto al inventario total de fuentes fijas en el escenario tendencial.

Tabla FF2.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.

Modo de implementación	Reducción en la emisión de PM año 2020	Reducción en la concentración de PM año 2020
Escenario tendencial	N.A	N.A
Modo 1	13%	4%
Modo 2	27%	7%
Modo 3	35%	9%
Modo 4	52%	14%
Modo 5	54%	15%

i. Beneficios en exposición personal:

- Para el Modo 1 el beneficio en exposición personal se considera bajo debido a que relativamente pocas fuentes se ven afectadas por la medida. El beneficio en exposición personal afectaría a los operarios de las fuentes y a otras las personas que se expongan en cercanías de las industrias.
- Para los modos 2, 3, 4 y 5 el beneficio en exposición personal se considera medio debido a que se implementa gas natural en un número superior de fuentes, reduciendo así la exposición de un número superior de personas entre las que se incluyen operarios y otras personas que se expongan en cercanías de las industrias.

- j. Impactos sobre otros sectores:** Los impactos de esta medida son los mismos que se presentaron en el análisis de la medida “conversión de carbón a gas natural”. Impactos adicionales a los que ya se presentaron y adicionales a los esperados en calidad del aire se presentan en la Tabla FF2.B.

Tabla FF2.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Mejora en el desempeño económico de la ciudad al lograr atraer industrias del sector informal hacia el sector formal industrial.	Positivo
Social	Mejora en el cumplimiento del POT dado que muchas industrias informales se caracterizan por estar ubicadas en viviendas. Al pasar a ser parte del sector formal, existe una alta probabilidad de que se ubiquen en zonas definidas para tal fin.	Positivo
	Mejora en las condiciones de contratación y de trabajo de los empleados de las industrias que entren a ser parte del sector formal de la industria.	Positivo

- k. Análisis de costos:** En la Tabla FF2.C se presenta el costo total para los cinco modos evaluados. En la Tabla FF2.D se presenta el costo por tonelada de PM reducida.

Tabla FF2.C. Costo total.

Escenario	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	9,700
Modo 2	25,100
Modo 3	35,800
Modo 4	54,500
Modo 5	64,100

Tabla FF2.D. Costo por tonelada de PM reducida.

Escenario	Costo por tonelada de PM (millones de pesos/ton PM)
Modo 1	6
Modo 2	8
Modo 3	9
Modo 4	10
Modo 5	11

NOTA: Debido a las limitaciones en información del sector industrial informal, no fue posible realizar el análisis de costos relacionado con dicho sector. Por lo tanto, los costos de las tablas FF2.C y FF2.D se refieren únicamente al sector formal.

- I. Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles éstos podrían cumplir en la implementación de la medida, adicionales a los que ya se mencionaron en el análisis de la medida “conversión de carbón a gas natural”.

Tabla FF2.E. Actores.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá	– Creación de campañas educativas para atraer al sector informal de la industria hacia el sector formal.
Ministerio de Industria y Comercio y Ministerio de Protección Social.	– Liderar el proceso para atraer las industrias del sector informal hacia el sector formal, mediante el fortalecimiento de los programas existentes para la formación de industria.
Cámara de Comercio de Bogotá	– Apoyar la medida brindando asesoría y facilidad para la conformación de nuevas industrias. – Creación de programas especiales para facilitar los trámites y reducir los costos asociados con la creación de nuevas empresas.
Ministerio de Educación y Sena	– Brindar oportunidades de educación a los empresarios involucrados en la medida.
SENA	– Dar asesoría acerca de los trámites para la creación de empresas. – Capacitar a las personas interesadas en formalizar su empresa.
Departamento Nacional de Planeación, ACOPI, Fenalco	– Apoyar la formación de pequeñas y medianas industrias.
Fomipyme	– Apoyar la financiación de proyectos para el desarrollo tecnológico de las Mipymes.

Un análisis completo acerca de lo que implica la informalidad en el sector de la industria y de las soluciones al problema, está fuera del alcance de este trabajo. A continuación se mencionan algunos aspectos que podrían estar involucrados con esta medida.

- m. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:** Además de los instrumentos descritos en la medida “conversión de carbón a gas natural”, a continuación se mencionan los que podrían atraer al sector informal de la industria hacia el sector formal.

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- El programa macroeconómico del Plan Nacional de Desarrollo busca la creación de condiciones que lleven a mayores niveles de competitividad y productividad. Así se menciona como un objetivo del Plan Nacional de Desarrollo el de reducir la brecha tecnológica a través de una mayor interacción entre los sectores productivo y educativo.

- Política nacional de calidad del aire del MAVDT en la que se establece la necesidad de fortalecer los mecanismos de ordenamiento territorial del desarrollo urbano, para lo cual “se prevé fortalecer las acciones de coordinación y complementariedad entre las entidades territoriales y las autoridades ambientales para apoyar conjuntamente el ordenamiento y desarrollo de los centros urbanos, buscando la disminución de la concentración de industrias cerca y dentro de éstos”.
 - En el documento Visión 2019 del Departamento Nacional de Planeación se propone la creación de alianzas para incentivar la formación de industrias. Asimismo, menciona la atracción de inversión como una estrategia de generación de empleos en el sector productivo.
 - Ley Mipyme o Ley 590 de 2000 modificada por la Ley 905 de 2004 sobre la promoción del desarrollo de la micro, pequeña y mediana empresa colombiana. Con esta norma se creó el Sistema Nacional de Mipymes y se establecieron las funciones del Consejo Superior de Pequeña y Mediana Industria. En esta ley se definen condiciones para otorgar créditos a las Mipymes. Adicionalmente, se establece que el SENA apoyará los programas de generación de empleo.
 - Se creó el Sistema Nacional de Apoyo y Promoción de las Mipymes, con el objetivo de garantizar la ejecución de las políticas públicas para impulsar las micro, pequeñas y medianas industrias.
 - Programa de Desarrollo Empresarial Sectorial (PRODES), es un programa estratégico, liderado por la Asociación Colombiana de Mediana y Pequeñas Industrias (Acopi), el cual promueve la asociatividad de industrias y se constituye como una de las mejores opciones para mejorar la competitividad de las pequeñas y medianas industrias. Este programa puede funcionar como un incentivo para atraer industrias del sector informal hacia el sector formal.
 - Red Colombiana de Centros de Subcontratación del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, su objetivo es mejorar el enlace entre la oferta y la demanda, el desarrollo de procesos productivos y las tecnologías de las cadenas productivas con el fin de mejorar la competitividad de las empresas colombianas. En este sentido, puede apoyar a las Mipymes, involucrándolas en las cadenas productivas.
 - Centro de Emprendimiento Bogotá Emprende de la Cámara de Comercio de Bogotá y la Alcaldía. Constituye una herramienta de asesoría para iniciar y expandir empresas. Tiene como uno de sus objetivos asesorar a las industrias acerca de las opciones de financiamiento para los diferentes sectores productivos de la ciudad.
 - Se identificaron programas de apoyo para grupos específicos de la población, que buscan incentivar la creación de empresas: Organización mundial para las migraciones, Oportunidad Latinoamérica Colombia, Programa mini-cadenas productivas de acción social, Fundación Panamericana del Desarrollo y Aid to artisans.
 - Plan de ordenamiento territorial de Bogotá definido por el Decreto 619 de 2000, en el que se establecen los lineamientos generales del uso del suelo en Bogotá.
2. Instrumentos financieros disponibles: Estos instrumentos hacen referencia a herramientas existentes en el país que apoyan la creación de empresas. Las herramientas financieras para realizar la sustitución de combustibles (carbón a gas natural) se presentaron en el análisis de dicha medida.

Como se mencionó anteriormente, el Centro de Emprendimiento Bogotá Emprende es un programa que tiene como uno de sus objetivos dar asesoría para la creación de industrias y ofrecer asesoría en cuanto a los instrumentos financieros disponibles para cada empresa dependiendo de la actividad productiva que desarrolle. A continuación se mencionan algunas opciones de financiación para la creación de industrias en la ciudad.

- Fondo colombiano de modernización y desarrollo tecnológico de las micro, pequeñas y medianas empresas (FOMIPYME).

- Instituto de fomento industrial (IFI) a través de Bancoldex.
 - Línea de crédito “Apoyo a la productividad y competitividad” del Programa aProgersar de Bancoldex, en la cual se ofrecen alternativas de financiamiento para programas encaminados a mejorar la productividad y la competitividad de las empresas (CCB, 2010). Bancoldex ofrece alternativas de financiamiento de creación de capital y compra de activos fijos para microempresas de todos los sectores.
 - Línea de crédito “Línea jóvenes emprendedores exportadores” de Bancoldex, para jóvenes universitarios recientemente graduados o para empresas constituidas bajo el proyecto emprendedores de Colombia.
 - Findeter ofrece alternativas de financiamiento de creación de capital para algunos sectores específicos.
 - Colciencias ofrece alternativas de financiamiento para desarrollo de proyectos de innovación y desarrollo tecnológico para exportadores directos e indirectos.
 - Cámara de comercio de Bogotá a través de la línea de crédito Cámara de Comercio de Bogotá-Fondo Nacional de Garantías, ofrece créditos para crear empresas en el Distrito.
 - Línea de microcrédito “Corporación mundial de la mujer”, apoya proyectos del sector de pequeña industria.
 - Fundación Panamericana para el Desarrollo (FUPAD).
 - Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN) del Banco Interamericano de Desarrollo invierte en proyectos del sector de la mediana empresa.
 - Corporación Interamericana de Inversiones (CII) del Banco Interamericano de Desarrollo invierte en la pequeña y mediana empresa.
3. Necesidad de creación de instrumentos financieros: Aplican los mismos mencionados en el análisis de la medida “conversión de carbón a gas natural”.
4. Otros:
- En el Plan Nacional de Desarrollo, se menciona la necesidad de creación de instrumentos para la promoción de las micro, pequeñas y medianas empresas. En este mismo documento se menciona la necesidad de mejorar la coordinación entre los Ministerios de Industria y Comercio, Protección Social, Red para la superación de la pobreza extrema, el Sena, Cajas de compensación, Banca de las oportunidades, entre otras (DNP, 2007).
 - Necesidad de fortalecer la coordinación interinstitucional para la implementación de la medida.
- n. **Barreras:** Las barreras relacionadas con la sustitución de combustibles hacia gas natural son las mismas que se presentaron en el análisis de la medida “conversión de carbón a gas”. A continuación se enumeran barreras relacionadas con la formalización de las industrias que no se encuentran legalmente constituidas.
- El alto costo de contratar empleados en comparación con los costos que esto implica en las actividades informales.
 - Altos costos de capital necesarios en relación con el tamaño de las industrias y su producción.
 - Restricciones para acceder a los créditos por las exigencias y requisitos de las entidades financieras hacia los industriales.
 - Falta de personal capacitado que pueda estructurar un proyecto financiero para solicitar apoyo financiero.
 - Altos costos de transacción económicos y financieros para las pymes (Sánchez et al., 2007).
 - Dificultades en la identificación de la tecnología adecuada para los procesos productivos de interés y dificultades de acceso a la misma (Sánchez et al., 2007).

- Falta de creación de asociaciones entre grupos productivos empresariales (Sánchez et al., 2007).
 - Falta de personal técnico y financiero capacitado para la formalización de las actividades productivas.
 - Falta de conocimiento en cuanto a los trámites legales necesarios para constituir una empresa.
 - Falta de conocimiento acerca de las ventajas de las empresas legalmente constituidas en comparación con las empresas del sector informal.
- o. Estrategias de implementación de la medida:** Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones que podrían considerarse al momento de definir el esquema de implementación que va a seguirse para desarrollar esta medida. En la Figura FF2.F se presentan estas opciones mediante un diagrama lógico.

Se presentan las opciones relacionadas con la formalización de la industria, los aspectos relacionados con la sustitución de combustibles son los mismos que se presentaron para la medida "conversión de carbón a gas natural".

Aspectos técnicos:

1. Seleccionar los procesos de la industria informal que se caracterizan por tener altos niveles de emisiones.
2. Evaluar según la información que tiene la SDA cuáles son las áreas de la ciudad de mayor afectación por desempeño de estas actividades.
3. Identificar potenciales grupos de industrias que podrían participar en la medida.

Aspectos sociales:

1. Crear programas de concientización para el sector involucrado acerca de las ventajas de acogerse a la medida.
2. Crear programas de capacitación para el sector involucrado acerca de la constitución legal y el manejo de las nuevas industrias.
3. Crear programas de capacitación para el sector involucrado acerca de las mejoras en tecnología que traerá la formación de las nuevas industrias y acerca de las nuevas condiciones de trabajo.

Aspectos financieros:

1. Buscar opciones de financiación para que el Distrito asuma el costo de la medida en los casos en que los sectores involucrados estén conformados por personas de muy bajos ingresos.
2. Evaluar la opción de crear programas de asociatividad para que sea viable la creación de algunas industrias y asimismo evaluar como una opción contar con el apoyo financiero del Distrito para iniciar los proyectos.
3. Si es el sector industrial quien debe asumir el costo, iniciar el proceso de búsqueda de instrumentos de financiación disponibles.

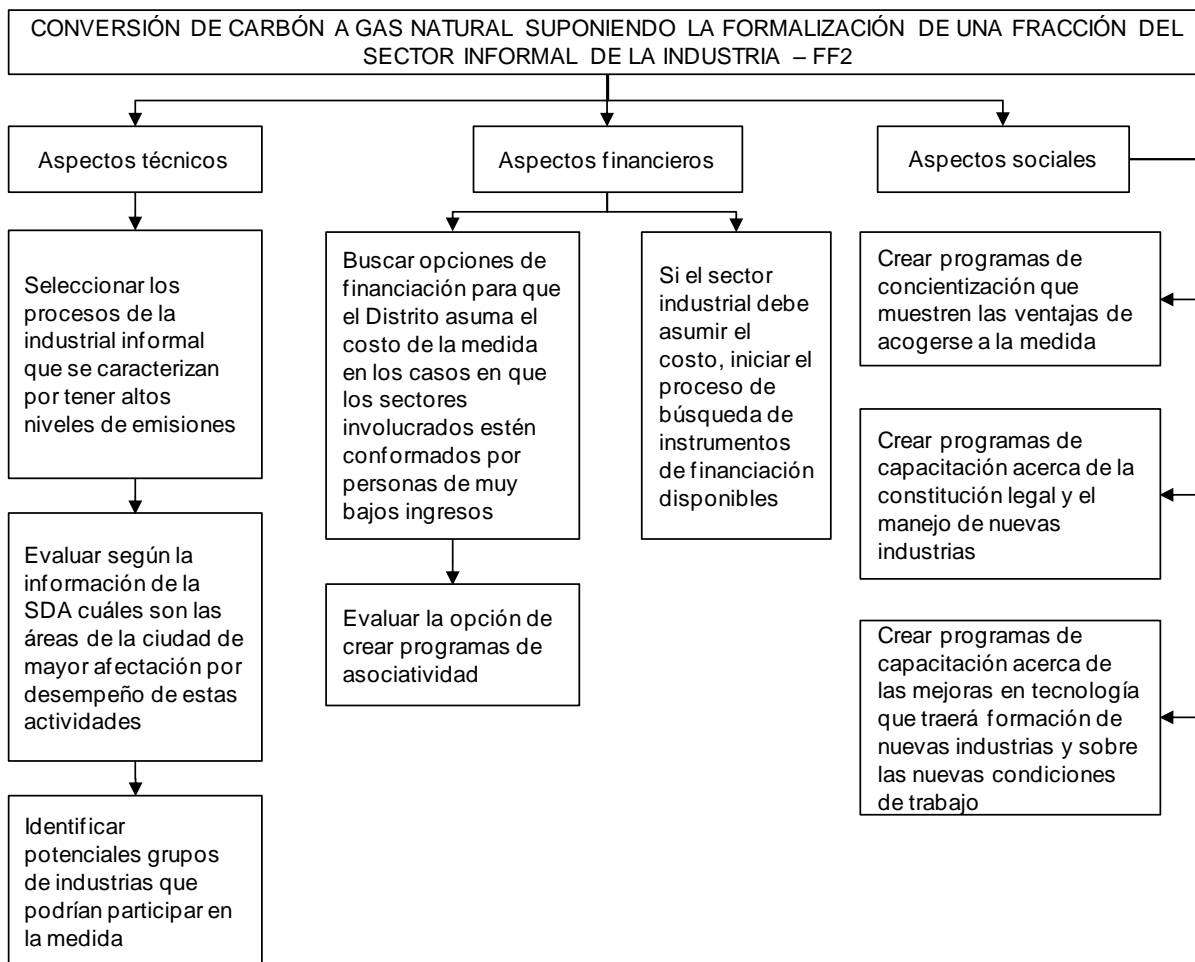


Figura FF2.F. Opciones de implementación de la medida.

6.1.3. *Uso de Sistemas de Control de Emisiones – FF3*

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes fijas.
- b. **Categoría:** Hornos (HC, HL) y calderas (CC1, CC2) que utilizan carbón o gas natural (CG1, CG2, CG3) como combustible.
- c. **Descripción:** Según el inventario de fuentes de emisiones de la ciudad (SDA-SUR, 2008) menos del 10% de las fuentes cuentan con un sistema de control de emisiones que se encuentre en estado operacional. Dentro de este grupo, el ciclón es el sistema que predomina, el cual se caracteriza por tener una baja efectividad en la remoción de partículas con tamaño inferior a 10 μm .

En esta medida se propone el uso de sistemas de control de emisiones en hornos y calderas que utilizan carbón (HC, HL, CC1, CC2) y calderas que utilizan gas natural como combustible (CG1, CG2, CG3). Se seleccionaron estas categorías porque las emisiones de las mismas corresponden al 95% de las emisiones de PM del sector industrial en el año base (ver Sección 2 del Documento de Trabajo).

Además para estas categorías se cuenta con la información técnica (parámetros de operación identificados en la fase anterior del proyecto) acerca de las condiciones de operación de las mismas, la cual es indispensable para realizar el análisis de viabilidad técnica de los diferentes sistemas de control disponibles en el mercado.

- d. **Objetivo:** Instalar sistemas de control de emisiones en las fuentes que aportan en mayor proporción a las emisiones de material particulado en la industria.
- e. **Variaciones:** Se diseñaron cuatro modos de implementación para esta medida. Se propusieron dos metas de reducción de emisiones de PM y dos maneras en que estas metas podrían cumplirse.

La primera meta, más exigente equivale a reducir el 95% de las emisiones anuales del sector industrial formal del escenario tendencial en el año base. A su vez esta meta tiene dos opciones de implementación. Estos modos se explican a continuación.

- Modo 1: Esta meta es equivalente a la reducción del 95% de las emisiones anuales de las fuentes industriales del sector formal en el año base. La meta de reducción se aplica a las categorías HL, HC, CC1, CC2, CG1, CG2 y CG3 de manera proporcional al aporte que tiene cada una en las emisiones de PM del año base (ver Tabla FF3.A). Se seleccionan en cada categoría las industrias de mayor aporte al inventario de PM en el año base hasta llegar a la meta de reducción definida para cada una.
- Modo 2: Esta meta es equivalente a la reducción del 95% de las emisiones anuales de las fuentes industriales del sector formal en el año base. La meta de reducción se logra instalando sistemas de control de emisiones en el mínimo número de fuentes necesario para cumplir la meta, sin considerar a qué categoría de la industria pertenecen.

La manera en que se implementa la medida en el Modo 2 es de mayor costo efectividad que la que se usa en el Modo 1. Sin embargo, la opción usada en el Modo 1 podría ser más equitativa al involucrar industrias de todas las categorías industriales incluidas en esta medida.

- Modo 3: Esta meta es equivalente a la reducción del 70% de las emisiones anuales de las fuentes industriales del sector formal en el año base. La meta de reducción se aplica a las categorías HL, HC, CC1, CC2, CG1, CG2 y CG3 de manera proporcional al aporte que tiene cada una en las emisiones de PM del año base (ver Tabla FF3.A). Se seleccionan en cada categoría las industrias de mayor aporte al inventario de PM en el año base hasta llegar a la meta de reducción definida para cada una.
- Modo 4: Esta meta es equivalente a la reducción del 70% de las emisiones anuales de las fuentes industriales del sector formal en el año base. La meta de reducción se logra instalando sistemas de control de emisiones en el mínimo número de fuentes necesario para cumplir la meta, sin considerar a qué categoría de la industria pertenecen.

En la Tabla FF3.A se presenta la participación porcentual de las categorías industriales en las emisiones de PM de la ciudad para el año base y por lo tanto es equivalente a la meta de reducción de emisiones que tendría cada categoría bajo los modos 1 y 3.

Tabla FF3.A. Porcentaje de la meta de reducción de emisiones para las diferentes categorías de la industria afectadas por esta medida.

Categoría	Porcentaje de la meta
HL	51%
CC1	26%
CG1	11%
CC2	8%
HC, CG2, CG3	4%

HL: horno ladrillero a carbón; HC: horno a carbón; CC1: caldera a carbón >100 BHP; CC2: caldera a carbón ≤100 BHP; CG1: caldera a gas natural >100 BHP y año de fabricación ≤ 1997; CG2: caldera a gas natural >100 BHP y año de fabricación >1997; CG3: caldera a gas natural ≤100 BHP.

En la Tabla FF4.B se presenta el número aproximado de industrias a las que se les instalaría un sistema de control de emisiones para cada modo de implementación de la medida. El número de industrias se halló con base en el inventario de fuentes del año base (2008).

Tabla FF3.B. Número de industrias a las que se les instalarían sistemas de control de emisiones en los diferentes modos de implementación de la medida.

Modo	Categoría industrial							
	CC1	CC2	CG1	CG2	CG3	HL	HC	Total
Modo 1	29	29	124	29	321	29	42	603
Modo 2	35	28	59	9	1	41	17	190
Modo 3	8	11	30	5	47	13	11	125
Modo 4	8	1	2	1	0	23	0	35

El análisis de costo eficiencia de los diferentes sistemas de control técnicamente viables, según las características específicas de la industria de Bogotá, sugiere que los filtros, y en especial los filtros de papel y de chorro pulsante, son tecnologías óptimas en la reducción de la emisión de PM en su fracción fina. Este tipo de tecnología es el que se propone instalar como sistema de control de emisiones en las industrias de las categorías propuestas en esta medida.

f. Tiempo de implementación:

- Modo 1: El periodo de implementación de la medida es de 6 años. En este periodo se instalan sistemas de control de emisiones en 600 industrias aproximadamente, con una meta anual de instalación de sistemas de control en 100 industrias.
- Modo 2: El periodo de implementación de la medida es de 2 años. En este periodo se instalan sistemas de control de emisiones en 190 industrias aproximadamente, con una meta de instalación de sistemas de control en 95 industrias al año.
- Modo 3: El periodo de implementación de la medida es de 6 años. En este periodo se instalan sistemas de control de emisiones en 125 industrias aproximadamente, cada año se instalarían sistemas de control en 20 industrias anualmente.
- Modo 4: El periodo de implementación de la medida es de 2 años. En este periodo se instalan sistemas de control de emisiones en 35 industrias aproximadamente, cada año se instalarían sistemas de control en alrededor de 18 industrias.

g. Impacto en el inventario de emisiones: Esta medida únicamente tienen impacto sobre las emisiones de PM. En la Figura FF3.A se presenta el impacto de la medida en el inventario de emisiones del sector industrial. Con el fin de presentar los modos de implementación de manera comparativa, se presentan los resultados suponiendo que la medida en todos los casos se empieza a implementar en el año 2012.

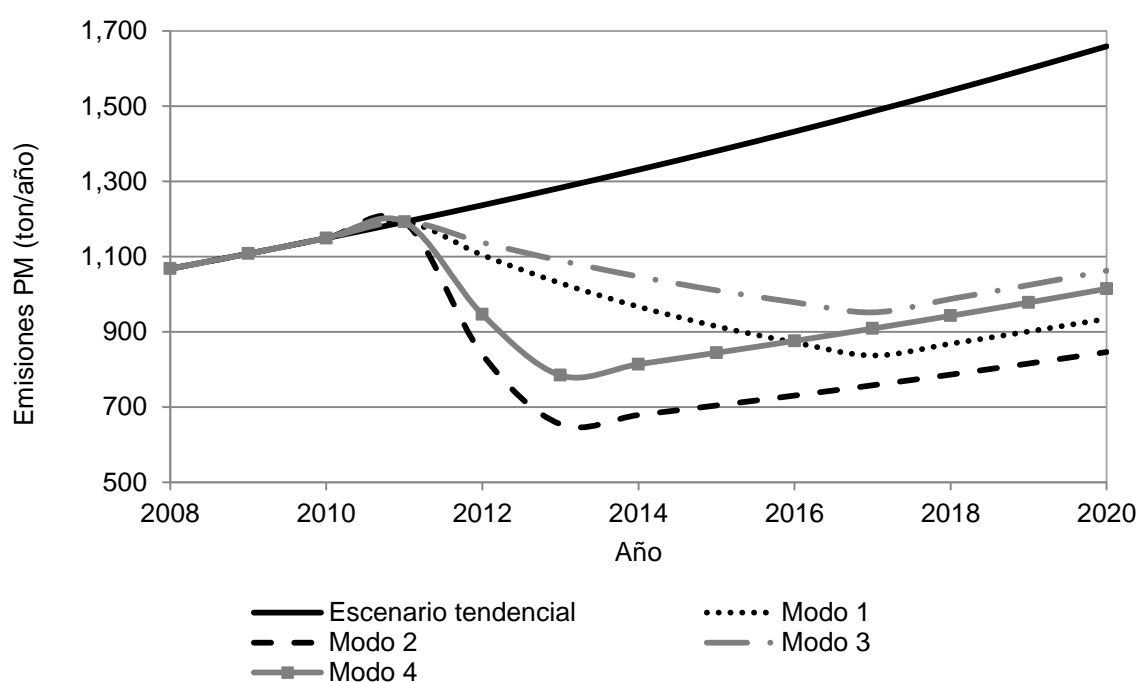


Figura FF3.A. Emisiones del sector industrial con la aplicación de la medida y en el escenario tendencial.

h. Impacto sobre la calidad del aire: En la Tabla FF3.C se presenta el impacto que tendría la aplicación de esta medida sobre los niveles de PM en la ciudad en el año 2020. El porcentaje de reducción de emisiones que se presenta se estimó con base en el inventario total de fuentes fijas en el escenario tendencial.

Tabla FF3.C. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.

Modo de implementación	Reducción en la emisión de PM año 2020	Reducción en la concentración de PM año 2020
Escenario tendencial	N.A.	N.A.
Modo 1	44%	12%
Modo 2	49%	13%
Modo 3	36%	10%
Modo 4	39%	10%

i. Beneficios en exposición personal:

- Para los modos 1, 2 y 3 el beneficio en exposición personal es medio debido a que se implementan sistemas de control de emisiones en un número superior de fuentes (en comparación con el Modo 4), reduciendo así la exposición de un número superior de personas entre las que se incluye el personal de las industrias y la población que se exponga en cercanía de éstas.

j. Impactos sobre otros sectores: En la Tabla FF3.D se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes a los directamente relacionados con la calidad del aire.**Tabla FF3.D.** Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la compra de los sistemas de control de emisiones.	Negativo
	Aumento en el mercado de tecnologías de control de emisiones en el país.	Positivo
	Aumento en los costos de operación y mantenimiento de las industrias, derivados de la utilización de sistemas de control de emisiones. Estos costos serían finalmente trasladados al usuario, incrementando el precio de venta de los productos.	Negativo
	Mejora en la imagen pública de las industrias por reducir el impacto sobre el medio ambiente. Esto puede significar mejoras en términos de competitividad.	Positivo
Social	Generación de empleo asociado a la fabricación, importación, comercialización, instalación y mantenimiento de los equipos.	Positivo
Educación	Oportunidad de educación para los operarios de las industrias, como consecuencia de la implementación de sistemas de control de emisiones.	Positivo

k. Análisis de costos: En la Tabla FF3.E se presenta el costo total para los cuatro modos evaluados. En la Tabla FF3.F se presenta el costo por tonelada de PM reducida.**Tabla FF3.E.** Costo total.

Modo de implementación	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	61,700
Modo 2	22,200
Modo 3	15,200
Modo 4	8,500

Tabla FF3.F. Costo por tonelada de PM reducida.

Modo de implementación	Costo por tonelada de PM (millones de pesos/ton PM)
Modo 1	14
Modo 2	4
Modo 3	4
Modo 4	2

- I. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla FF3.G. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Ambiente	– Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	– Facilitar la importación de los sistemas de control de emisiones en caso de que la oferta local así lo requiera. – Dar aval a las industrias acerca de los sistemas de control de emisiones. – Asesorar a las industrias afectadas acerca de los instrumentos financieros existentes y sobre el proceso de aplicación a los mismos. – Prestar servicios de asesoría técnica y financiera al sector de la industria hacia el cual se dirige la medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	– Realizar actividades de información y educación a las industrias acerca de las opciones y la viabilidad técnica de aplicación de los sistemas de control de emisiones. – Buscar el apoyo de instituciones internacionales expertas en el tema, que apoyen el proceso de información tanto para las industrias como para las autoridades ambientales. Esto podría desarrollarse con el apoyo del MAVDT y de la academia. – Exigir el cumplimiento de los estándares de emisiones establecidos en la normativa nacional y distrital. – Realizar actividades de control y seguimiento a la medida.
Cámara de Comercio de Bogotá	– Apoyar en conjunto con el MAVDT el proceso de búsqueda de fuentes de financiación para la adquisición de los sistemas de control de emisiones.
SENA y MAVDT	– Liderar el proceso de capacitación de operarios en el manejo de los sistemas de control de emisiones.

Tabla FF3.H. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Representantes del gremio industrial: ANDI, Andesco, ACOPI, FENALCO	– Apoyar el proceso de concertación entre sectores.
Empresas de fabricación y comercialización de sistemas de control de emisiones nacionales e internacionales	– Participar en las actividades de concertación con las entidades representantes del gobierno distrital. – Proveer información al sector acerca de las mejores opciones disponibles y acerca de la experiencia de cada una en este tema.
Industrias que implementarían la medida	– Participar en las actividades de concertación con las entidades representantes del gobierno distrital. – Exigir actividades de concientización acerca de los beneficios financieros y en competitividad que podrían obtener.

Tabla FF3.I. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	– Exigir a la autoridad ambiental y al Distrito el cumplimiento de los estándares de emisión de las industrias.

m. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Esta medida es consistente con los objetivos de la Política Nacional de Producción más Limpia: 1) Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes; 2) Prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas.
- Resolución 909 de 2008: Normas y estándares de emisión para fuentes fijas.
- Establecimiento de áreas fuente de contaminación en Bogotá: Decreto 174 de 2006, Decreto 417 de 2006.
- Protocolo para el control y la vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, adoptado mediante la Resolución 650 de 2010, en el cual se establecen los procedimientos de evaluación de emisiones y de vigilancia y control para las fuentes fijas.
- Las industrias pueden aplicar a la suscripción de un Convenio de Reconversión a Tecnología Limpia según lo establecido por el MAVDT.

2. Instrumentos financieros disponibles: A continuación se mencionan instrumentos financieros existentes en el país que por sus características podrían apoyar la implementación de la esta medida.

- Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas que otorga cofinanciación para desarrollo tecnológico.
- Línea de Crédito Ambiental, diseñada por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales. Es un mecanismo para financiar inversiones que busquen un impacto positivo sobre el medio ambiente así como incrementar el desarrollo sostenible en el país.
- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Exclusión de pago de IVA para adquirir o importar un bien para la construcción, instalación, montaje y operación de sistemas de control y monitoreo necesario para el cumplimiento de los estándares ambientales. Base legal: Ley 223 de 1995, Ley 788 de 2002, Decreto 2532 de 2001, Resolución 486 de 2002, Resolución 1512 de 2004, Decreto 1220 de 2005 (MAVDT, 2010).
- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Exclusión de pagos por deducción de renta líquida, aplica cuando se realizan inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente. Base legal: Ley 223 de 1995, Ley 788 de 2002, Decreto 3172 de 2003, Decreto 2755 de 2003, Resolución 136 de 2004, Decreto 1220 de 2005 (MAVDT, 2010).
- Fundación para el desarrollo sostenible de Colombia que apoya a las empresas en la consecución de fuentes de financiación para programas de aumento de productividad, competitividad y estabilidad en pequeñas y medianas industrias que tengan como objetivo el desarrollo sostenible.
- Corporación Andina de Fomento (CAF): Participa en el financiamiento de proyectos de cooperación técnica, con el fin de impulsar programas que contribuyan al desarrollo sostenible.
- Instrumentos financieros ofrecidos por la Banca Multilateral (Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, Corporación Andina de Fomento, entre otros).

- Corporación Ecofondo fomenta procesos de gestión ambiental que contribuyan al desarrollo sostenible en el país.
- Instituto de Fomento Industrial (IFI) ofrece créditos a las pequeñas y medianas industrias.

3. Otros:

- Crear capacidad técnica en las entidades encargadas de dar asesoría técnica y financiera a las empresas participantes en la medida.
- Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida para el sector industrial afectado.
- Se podría evaluar la opción de incentivos diferentes a los financieros como podría ser el de eximir por un periodo a las industrias que se acojan a la medida de los controles que les realiza la autoridad ambiental.

n. **Barreras:**

- Es difícil que los industriales decidan invertir en mejoras ambientales sin que necesariamente esto tenga repercusiones en la mayor productividad de las industrias.
- Aumento en los costos de producción como consecuencia de la adquisición de tecnologías “al final del tubo”.

- o. Estrategias de implementación de la medida:** Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones a considerar al momento de definir el esquema de implementación que va a seguirse para desarrollar esta medida. En la Figura FF3.B mediante un diagrama lógico se presentan diferentes opciones de implementación de la medida.

Aspectos técnicos:

1. Seleccionar las empresas en las que se instalarán sistemas de control de emisiones según el modo de la medida que se vaya a implementar. De las categorías HC, HL, CC1, CC2, CG1, CG2 y CG3 seleccionar las fuentes de mayor aporte al inventario de emisiones de PM.
2. Identificar potenciales proveedores nacionales e internacionales de los sistemas de control de emisiones requeridos.
3. Diseñar los requisitos que deberían cumplir los sistemas seleccionados, con el fin de apoyar a las empresas en la selección de los sistemas de control.

Aspectos educativos:

1. Iniciar programas de concientización al sector involucrado acerca de las ventajas (técnicas y económicas) de acogerse a la medida.
2. Iniciar programas de capacitación para el sector involucrado acerca de los sistemas de control de emisiones y de sus requerimientos técnicos.

Aspectos financieros:

1. Las industrias deben iniciar el proceso de búsqueda y aplicación a las opciones de financiación para la adquisición e instalación de los sistemas de control.

2. El Distrito podría asumir una proporción del costo de los sistemas para incentivar la adopción de la medida.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Exigir el cumplimiento de la normativa relacionada con los estándares de emisión.
2. Crear un programa distrital para incentivar y apoyar a las industrias en la instalación de sistemas de control de emisiones.
3. Hacer más exigentes las sanciones para las industrias que no cumplan con los niveles de emisión establecidos por la normativa.

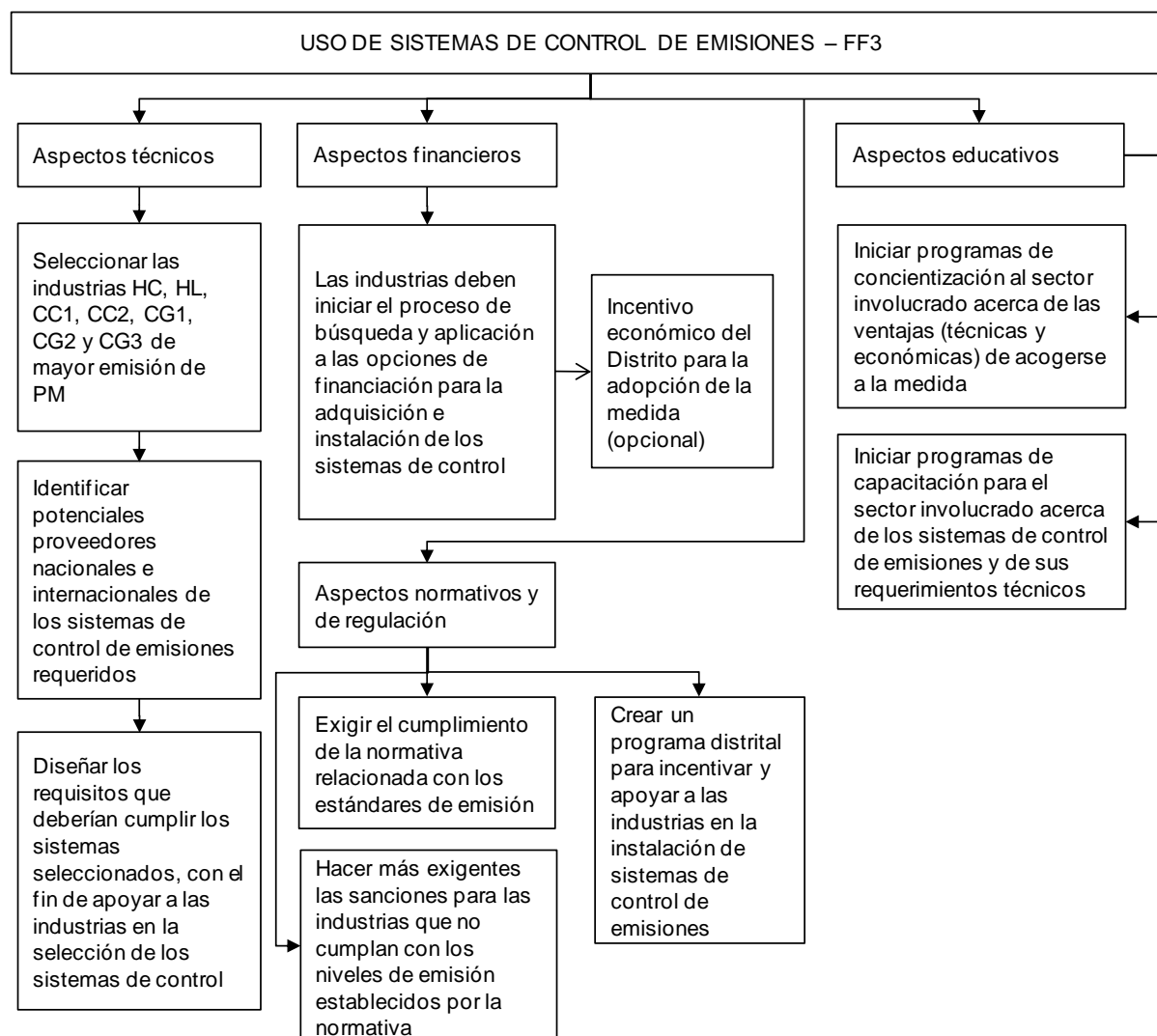


Figura FF3.B. Opciones de implementación de la medida.

6.1.4. *Uso de Sistemas de Control de Emisiones en Industrias del Sector Ladrillero y Reubicación de Fuentes – FF4*

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes fijas.
- b. **Categoría:** Hornos ladrilleros (HL).
- c. **Descripción:** El sector ladrillero es el sector industrial de mayor aporte al inventario de emisiones de material particulado. Éste se caracteriza por el uso de hornos a carbón en ausencia de sistemas de control de emisiones. El sector de industria ladrillera constituye menos del 3% de las fuentes industriales de la ciudad, sin embargo aporta alrededor del 50% de las emisiones de PM (ver Sección 2 del Documento de Trabajo).

En esta medida se propone que las industrias del sector ladrillero, las de mayor consumo energético, implementen sistemas de control de emisiones. El uso de sistemas de control de emisiones es más costo efectivo para las industrias de mayor consumo energético que para las industrias de bajo consumo. Para el porcentaje remanente (las industrias de menor aporte al inventario de PM) se propone que se implementen programas de reubicación de las industrias fuera del perímetro urbano. Con la ubicación de las fuentes fuera del perímetro urbano, se busca reducir la exposición de la población al pasar de zonas densamente pobladas a zonas de menor población.

- d. **Objetivo:** Instalar sistemas de control de emisiones en una fracción de las industrias del sector ladrillero de la ciudad e implementar programas de reubicación fuera del perímetro urbano para las fuentes remanentes de este sector.
- e. **Variaciones:** Se proponen cuatro modos de implementación en los que se varía el porcentaje de las industrias a las que se instalaría sistemas de control de emisiones y por lo tanto también varía el porcentaje de industrias que serían reubicadas fuera del perímetro urbano.
 - Modo 1: Considera que se instalan sistemas de control de emisiones en el 50% de las fuentes de mayor emisión del sector, adicionalmente considera la reubicación fuera del perímetro urbano para el 50% remanente.

Según el consumo energético y la emisión de las industrias en el año base, este escenario equivale a la instalación de sistemas de control en 20 industrias ladrilleras y la reubicación de alrededor de 20 industrias.

- Modo 2: Considera que se instalan sistemas de control de emisiones en el 70% de las fuentes de mayor emisión del sector, adicionalmente considera la reubicación fuera del perímetro urbano para el 30% remanente.

Según el consumo energético y la emisión de las industrias en el año base, este escenario equivale a la instalación de sistemas de control en 30 industrias ladrilleras aproximadamente y la reubicación de alrededor de 10 industrias.

- Modo 3: Considera que se instalan sistemas de control de emisiones en el 90% de las fuentes de mayor emisión del sector, adicionalmente considera la reubicación fuera del perímetro urbano para el 10% remanente.

Según el consumo energético y la emisión de las industrias en el año base, este escenario equivale a la instalación de sistemas de control en 36 industrias ladrilleras aproximadamente y la reubicación de alrededor de 4 industrias.

- Modo 4: Considera que se instalan sistemas de control de emisiones en el 100% de las fuentes del sector ladrillero.

f. Tiempo de implementación:

- Modo1: El periodo de implementación de la medida es de 2 años. Durante cada año de este periodo se instalarían sistemas de control de emisiones en 10 fuentes. Asimismo, cada año se reubicarían alrededor de 10 fuentes fuera del perímetro urbano.
- Modo 2: El periodo de implementación de la medida es de 3 años. Durante cada año de este periodo se instalarían sistemas de control de emisiones en 10 fuentes. En este tiempo se reubicarían alrededor de 12 fuentes.
- Modo 3: El periodo de implementación de la medida es de 3 años. Durante cada año de este periodo se instalarían sistemas de control de emisiones en 12 fuentes. En este tiempo se reubicarían alrededor 4 fuentes.
- Modo 4: El periodo de implementación de la medida es de 4 años. Durante cada año de este periodo se instalarían sistemas de control de emisiones en 10 fuentes.

- g. Impacto en el inventario de emisiones:** En las figuras FF4.A a FF4.E se presenta el impacto de la medida en el inventario de emisiones del sector industrial en comparación con la emisión de este sector en el escenario tendencial. Con el fin de presentar los modos de manera comparativa, se presentan los resultados suponiendo que la medida en todos los casos se empieza a implementar en el año 2012.

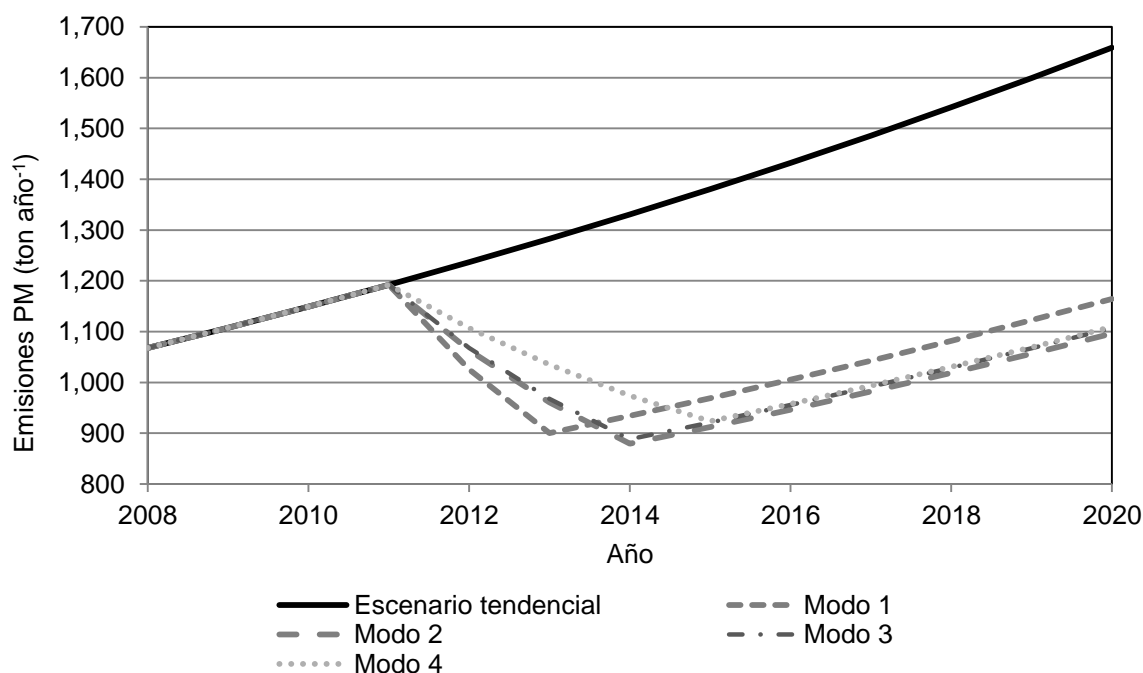


Figura FF4.A. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de PM del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.

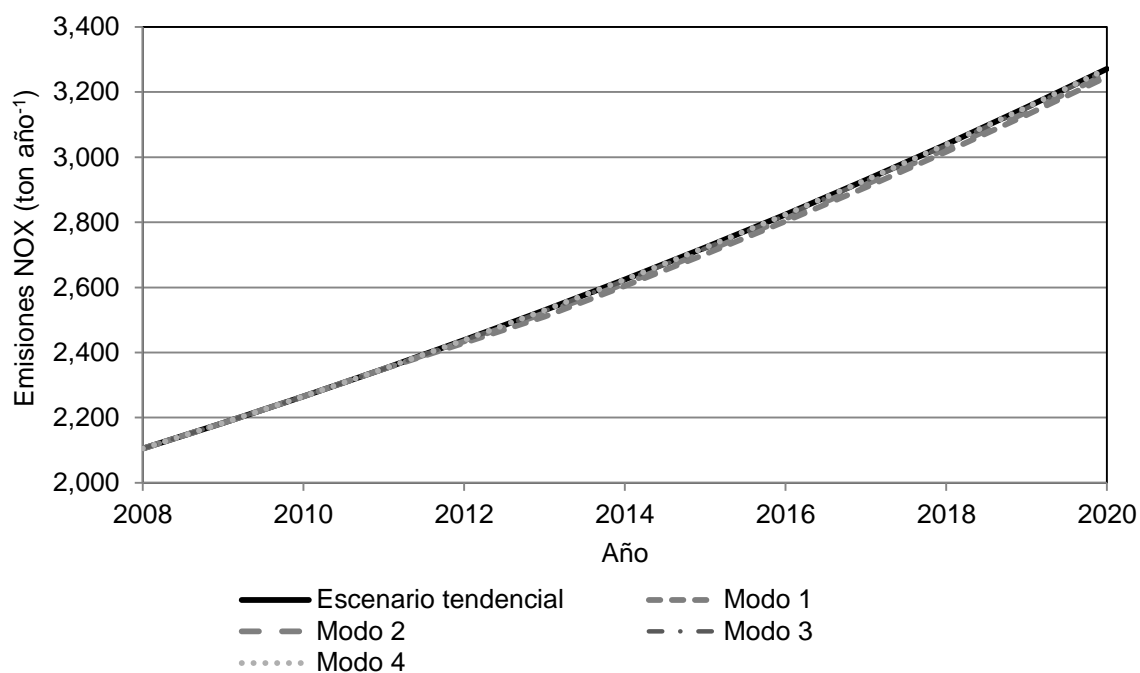


Figura FF4.B. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de NO_x del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.

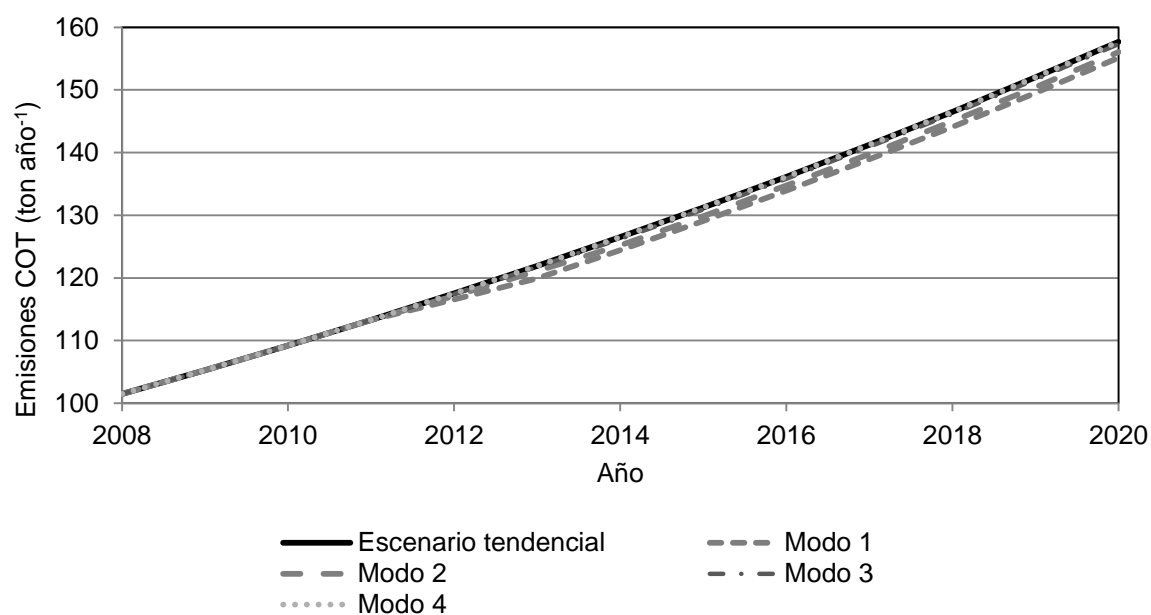


Figura FF4.C. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de COT del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.

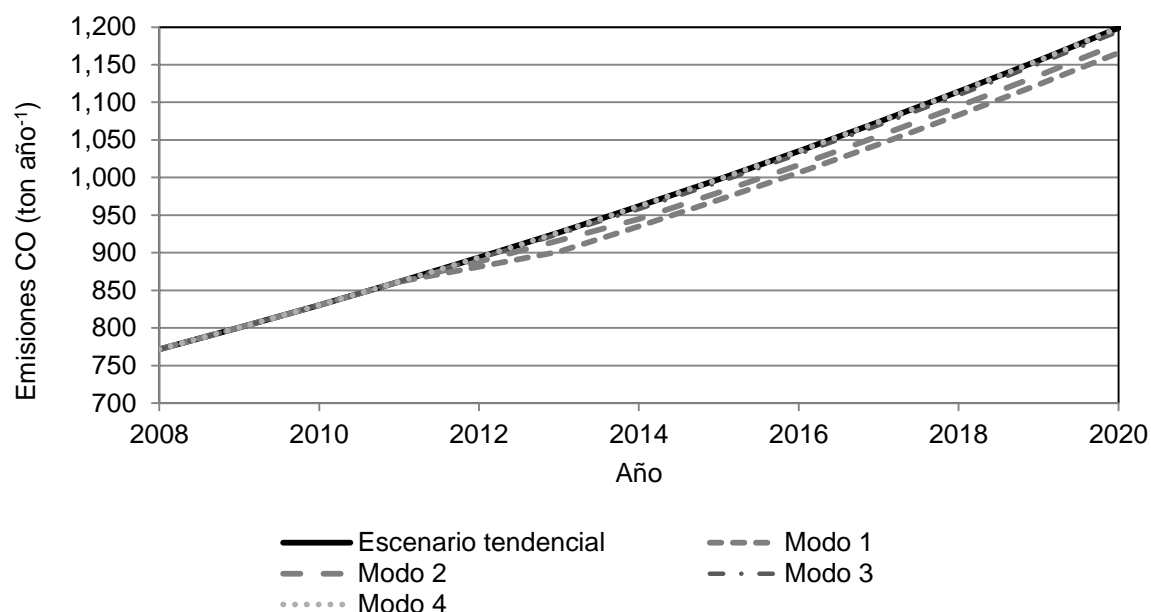


Figura FF4.D. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de CO del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.

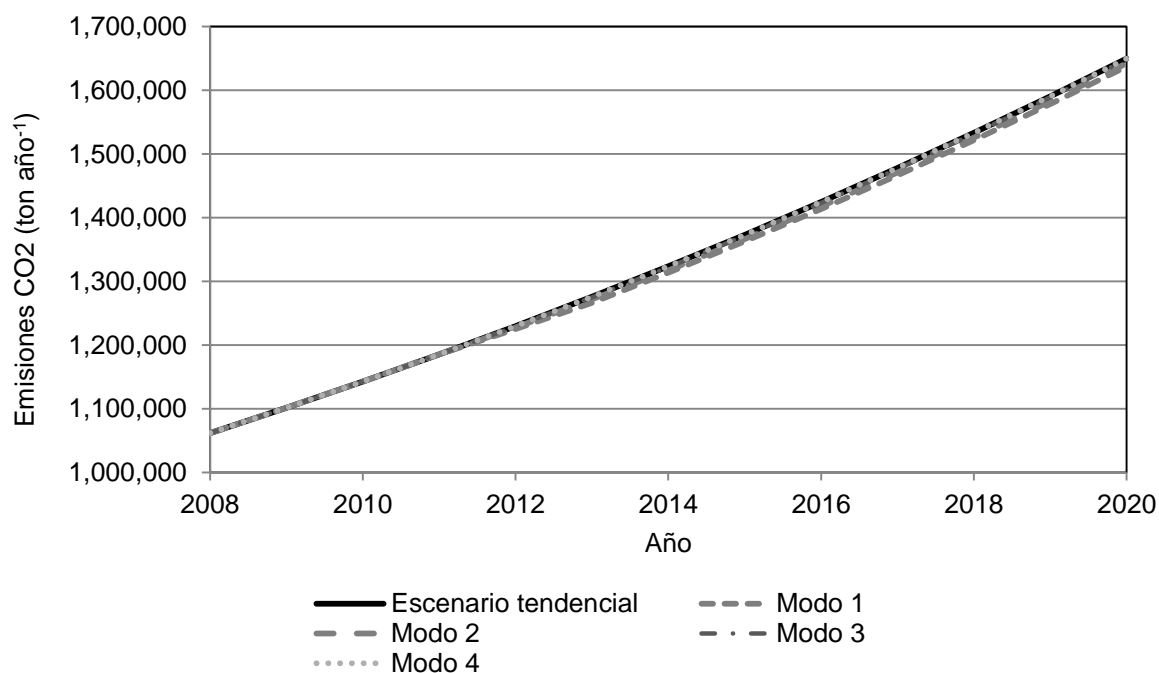


Figura FF4.E. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de CO₂ del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.

- h. Impacto sobre la calidad del aire:** En la Tabla FF4.A se presenta el impacto que tendría la aplicación de esta medida sobre los niveles de PM en la ciudad en el año 2020. El porcentaje de reducción de emisiones que se presenta se estimó respecto al inventario total de fuentes fijas en el escenario tendencial.

Tabla FF4.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.

Modo de implementación	Reducción en la emisión de PM año 2020	Reducción en la concentración de PM año 2020
Tendencial	N.A	N.A
Modo 1	30%	8%
Modo 2	34%	9%
Modo 3	33%	9%
Modo 4	33%	9%

i. Beneficios en exposición personal:

- Para los cuatro modos el beneficio en exposición personal es medio porque sólo se está afectando un sector industrial conformado por pocas fuentes, en comparación con otros sectores industriales. El beneficio en exposición de los modos 1 y 2 es superior al de los modos 3 y 4. En los dos primeros modos se reubican fuera del perímetro urbano más fuentes que en los modos restantes. El beneficio sería para los trabajadores de estas industrias, y para las personas que permanezcan alrededor de las mismas.

j. Impactos sobre otros sectores: En la Tabla FF4.B se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.**Tabla FF4.B.** Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la compra de los sistemas de control de emisiones.	Negativo
	Aumento en el mercado de tecnologías de control de emisiones en el país.	Positivo
	Aumento en los costos de operación y mantenimiento de las industrias, derivados de la utilización de sistemas de control de emisiones. Estos costos serían finalmente trasladados al usuario, incrementando el precio de venta de los productos.	Negativo
	Mejora en la imagen pública de las industrias y del sector por reducir el impacto sobre el medio ambiente. Esto puede significar mejoras en términos de competitividad.	Positivo
	Podría haber mayores costos de producción relacionados con el transporte de materiales para las industrias que se reubiquen fuera del perímetro urbano. Estos costos afectarían la competitividad de las industrias entre el mismo sector.	Negativo
Social	Generación de empleo asociado a la fabricación, importación, comercialización, instalación y mantenimiento de los equipos.	Positivo
	Impacto social fuerte sobre los operarios de las industrias que sean reubicadas.	Negativo
Educación	Oportunidad de educación para los operarios de las industrias, como consecuencia de la implementación de sistemas de control de emisiones.	Positivo

k. Análisis de costos: En la Tabla FF4.C se presenta el costo total para los escenarios evaluados.

Tabla FF4.C. Costo total.

Modo de implementación	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	6,100
Modo 2	7,900
Modo 3	8,700
Modo 4	12,200

Tabla FF4.D. Costo por tonelada de PM reducida.

Modo de implementación	Costo por tonelada de PM (millones de pesos/ton PM)
Modo 1	1.6
Modo 2	2.0
Modo 3	2.2
Modo 4	3.3

NOTA: Debido a limitaciones en información, en el análisis de costos únicamente se tuvo en cuenta el costo relacionado con la implementación de los sistemas de control.

- I. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla FF4.E. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Representantes del gremio industrial: ANDI, Andesco, ACOPI, FENALCO	– Apoyar el proceso de concertación entre sectores.
Empresas de fabricación y comercialización de sistemas de control de emisiones nacionales e internacionales	– Participar en las actividades de concertación con las entidades representantes del gobierno distrital. – Proveer información al sector acerca de las mejores opciones disponibles y acerca de la experiencia de cada una en este tema.
Industrias que implementarían la medida	– Participar en las actividades de concertación con las entidades representantes del gobierno distrital. – Exigir actividades de concientización y educación acerca de los beneficios financieros y en competitividad que podrían obtener por acogerse a la medida.

Tabla FF4.F. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	– Exigir a la autoridad ambiental y al Distrito el cumplimiento de los estándares de emisión de las industrias.

Tabla FF4.G. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Ambiente	– Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	– Facilitar la importación de los sistemas de control de emisiones en caso de que se considere necesario. – Dar aval a las industrias acerca de los sistemas de control de emisiones. – Entidad encargada de dar asesoría a las industrias afectadas acerca de los instrumentos financieros existentes y sobre el proceso de aplicación a los mismos. – Prestar servicios de asesoría técnica y financiera al sector de la industria hacia el cual se dirige la medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	– Realizar actividades de información y educación a las industrias acerca de las opciones y la viabilidad técnica de aplicación de los sistemas de control de emisiones. – Exigir el cumplimiento de los estándares de emisiones establecidos en la normativa nacional y distrital. – Realizar actividades de control y seguimiento a la medida.
Corporación Autónoma Regional y Mesa Regional de Calidad del Aire	– Apoyar el proceso de reubicación de las industrias fuera del perímetro urbano, seleccionando zonas en las que las fuentes no tengan alto impacto en términos de exposición sobre la población.
Cámara de Comercio de Bogotá	– Apoyar en conjunto con el MAVDT el proceso de búsqueda de fuentes de financiación para la adquisición de los sistemas de control de emisiones.
SENA y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	– Liderar el proceso de capacitación de operarios en el manejo de los sistemas de control de emisiones.
Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo	– Apoyar a las pequeñas industrias que deban ser reubicadas con programas de asociación entre industrias, o con incentivos para que la reubicación sea viable financieramente y signifique mejoras para las industrias que deban acogerse a la medida.

m. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:**1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:**

- La medida propuesta es consistente con los objetivos de la Política Nacional de Producción más Limpia 1) Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes; 2) Prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas.
- Resolución 909 de 2008, Normas y estándares de emisión para fuentes fijas.
- Establecimiento de áreas fuente de contaminación en Bogotá establecido en el Decreto 174 de 2006 y el Decreto 417 de 2006.
- Protocolo para el control y la vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, adoptado mediante la Resolución 650 de 2010, en el cual se establecen los procedimientos de evaluación de emisiones y de vigilancia y control para las fuentes fijas.

2. Instrumentos financieros disponibles: A continuación se mencionan instrumentos financieros existentes en el país que por sus características podrían apoyar la implementación de la esta medida.

- Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas: Otorga cofinanciación para desarrollo tecnológico.
- Línea de Crédito Ambiental (diseñada por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales): Mecanismo para financiar inversiones que busquen un impacto positivo sobre el medio ambiente así como incrementar el desarrollo sostenible en el país.
- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Exclusión de pago de IVA para adquirir o importar un bien para la construcción, instalación, montaje y operación de sistemas de control y monitoreo necesario para el cumplimiento de los estándares ambientales. Base legal: Ley 223 de 1995, Ley 788 de 2002, Decreto 2532 de 2001, Resolución 486 de 2002, Resolución 1512 de 2004, Decreto 1220 de 2005 (MAVDT, 2010).
- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Exclusión de pagos por deducción de renta líquida, aplica cuando se realizan inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente. Base legal: Ley 223 de 1995, Ley 788 de 2002, Decreto 3172 de 2003, Decreto 2755 de 2003, Resolución 136 de 2004, Decreto 1220 de 2005 (MAVDT, 2010).
- Fundación para el desarrollo sostenible de Colombia: Apoya a las empresas en la consecución de fuentes de financiación para programas de aumento de productividad, competitividad y estabilidad en pequeñas y medianas industrias que tengan como objetivo el desarrollo sostenible.
- Corporación Andina de Fomento: Participa en el financiamiento de proyectos de cooperación técnica, con el fin de impulsar programas que contribuyan al desarrollo sostenible.
- Corporación Ecofondo: Fomenta procesos de gestión ambiental que contribuyan al desarrollo sostenible en el país.
- Instituto de Fomento Industrial: Ofrece créditos a las pequeñas y medianas industrias.
- Las industrias pueden aplicar a la suscripción de un Convenio de Reconversión a Tecnología Limpia según lo establecido por el MAVDT.

3. Necesidad de creación de instrumentos financieros:

- Se podría evaluar la opción de crear incentivos financieros para las empresas que deban ser reubicadas. Asimismo, evaluar la opción de que el Distrito asuma una fracción del costo de la medida.

4. Otros:

- Crear capacidad en las entidades encargadas de dar asesoría técnica y financiera a las empresas participantes en la medida.
- Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida para el sector industrial afectado.
- Necesidad de programas que garanticen la competitividad de las industrias que deban ser reubicadas.

n. **Barreras:**

- Resistencia de los dueños de las ladrilleras que deban ser reubicadas, si no se da la garantía de la viabilidad financiera de las industrias con este cambio.
- Aumento en los costos de producción de ladrillos, por el transporte del material.
- Es difícil que los industriales decidan invertir en mejoras ambientales sin obtener una mayor productividad de las industrias.
- Aumento en los costos de producción como consecuencia de la adquisición de tecnologías “al final del tubo”.

- Necesidad de capacitación de los operarios en el manejo adecuado de los sistemas de control de emisiones.
- o. **Estrategias de implementación de la medida:** Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones que podrían considerarse al momento de definir el esquema de implementación que va a seguirse para desarrollar esta medida. En la Figura FF4.F se presentan las opciones de implementación de la medida mediante un diagrama lógico.

Aspectos técnicos:

1. Seleccionar las empresas que instalarán los sistemas de control de emisiones según el modo de la medida que se vaya a implementar. De las industrias del sector ladrillero (HL), seleccionar las fuentes de mayor aporte al inventario de emisiones de PM.
2. Identificar las empresas que deben ser reubicadas, las de menor aporte al inventario de emisiones de PM.
3. Identificar las posibles zonas en las que podrían ser reubicadas las industrias.

Aspectos financieros:

1. Si es el sector industrial quien debe asumir el costo, entonces iniciar el proceso de búsqueda de instrumentos de financiación disponibles.
2. Evaluar la viabilidad financiera con la reubicación de las fuentes para las industrias que deban salir del perímetro urbano.
3. Crear los incentivos financieros necesarios para impulsar la medida.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Para las industrias que no cumplen con los estándares de emisión establecidos en la normativa, podrían eliminarse las sanciones exigidas por ley si estas deciden acogerse a la medida.
2. Hacer más exigentes las sanciones para las industrias que no cumplen con los límites de emisión.
3. Crear otros incentivos que apoyen la implementación de la medida. Por ejemplo, no exigir a estas industrias muestreos isocinéticos durante un tiempo.
4. Para las industrias más pequeñas no es costo efectivo instalar sistemas de control de emisiones y la reubicación podría no ser una opción viable financieramente. Para estas podrían diseñarse proyectos piloto de asociación entre industrias, con el fin de buscar mejoras en las condiciones tecnológicas de los procesos. De esta manera también podrían tener sistemas de control de emisiones sin tener que ser reubicadas fuera del perímetro urbano.

Aspectos educativos y de divulgación:

1. Crear programas de educación y divulgación de la medida, para poder obtener aceptación por parte de los sectores involucrados.
2. Crear programas de capacitación para el manejo de los sistemas de control de emisiones.

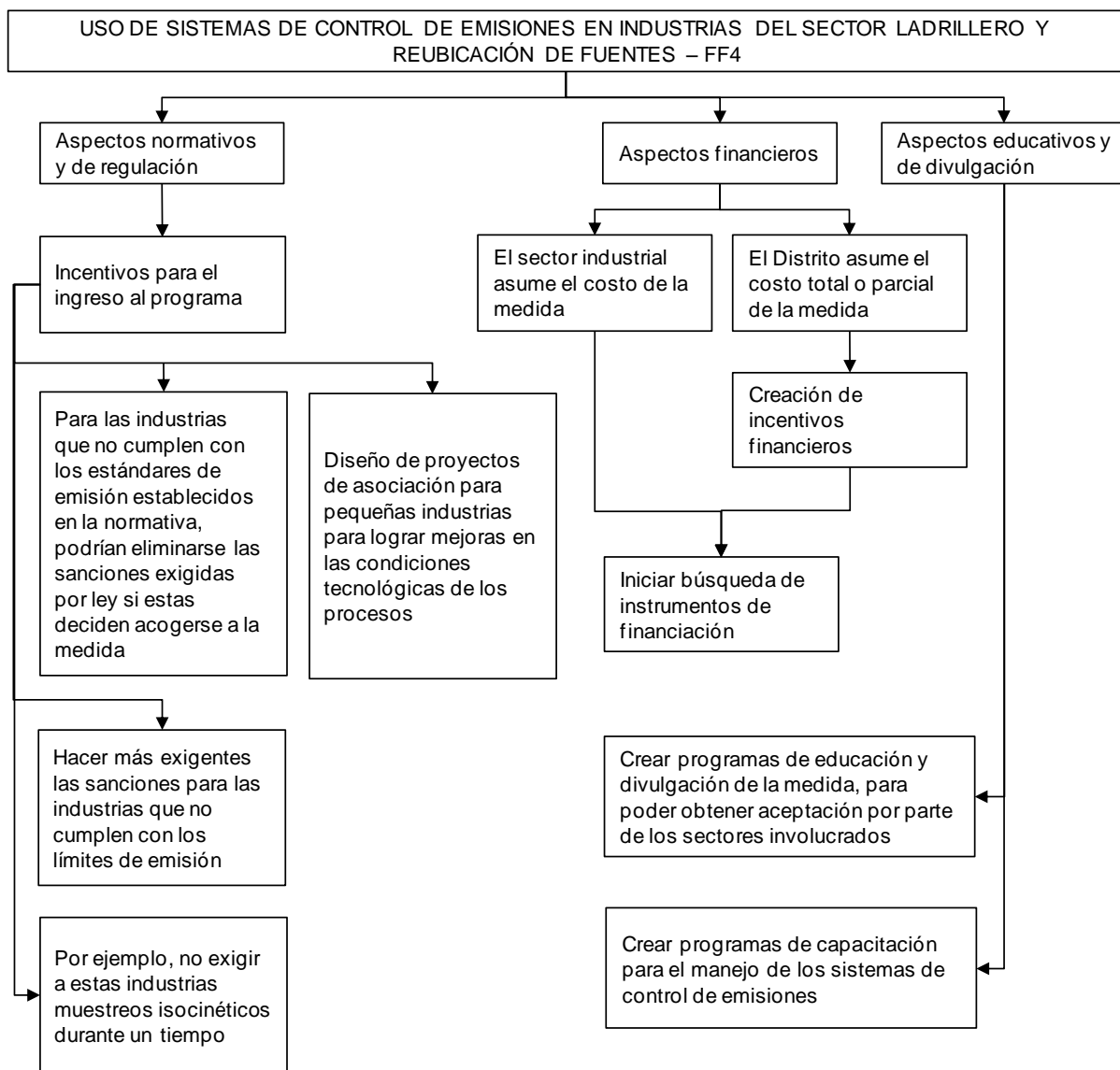


Figura FF4.F. Mecanismos de implementación de la medida.

6.2. Sector Transporte

6.2.1. *Reemplazo de Convertidores Catalíticos – FM1*

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes móviles.
- b. **Categoría:** Transporte privado.
- c. **Descripción:** En Colombia, los vehículos con año modelo igual o superior a 1997, cuentan con convertidores catalíticos. Estos dispositivos reducen las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos totales.

La vida útil de los convertidores catalíticos es de 10 años aproximadamente (ver Documento de Trabajo). En la ciudad no se cuenta con una cultura de reemplazo de los convertidores, y por lo tanto la edad media de los catalizadores corresponde a la edad media de los vehículos particulares, la cual según la información de línea base de PDDB es en promedio de 11 años. Esto significa que una proporción importante de los convertidores instalados en la flota de la ciudad ya no están desempeñando efectivamente su función.

Según el inventario de emisiones, los vehículos particulares aportan más del 70%, 30% y 60% de las emisiones de fuentes móviles de CO, NO_x y TOC, respectivamente (ver Sección 1 del Documento de Trabajo). Además, teniendo en cuenta que el ozono es el segundo contaminante más crítico en la ciudad después del material particulado, se considera necesario diseñar medidas que controlen las emisiones de sus precursores (NO_x y TOC).

- d. **Objetivo:** Reemplazar gradualmente los convertidores catalíticos de la flota de vehículos particulares que ya hayan cumplido con su tiempo de vida útil.
- e. **Variaciones:** Se proponen tres modos de implementación de la medida en los que se varía el porcentaje de vehículos a los que se les reemplazarían los convertidores catalíticos. En los tres modos se reemplazan los catalizadores que hayan cumplido con su tiempo de vida útil, según los porcentajes que se presentan para cada año en la Tabla FM1.A.

Tabla FM1.A. Modos de renovación de convertidores catalíticos.

Modo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Modo 1	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	80%	80%
Modo 2	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%		
Modo 3	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%		

Se estima que para el periodo 2010-2020 bajo el Modo 1 se reemplazarían cerca de 725,000 convertidores catalíticos, mientras que bajo los modos 2 y 3 se reemplazarían alrededor de 475,000 y 320,000, respectivamente.

f. **Tiempo de implementación:**

- Modo 1: El periodo de implementación de la medida es de 9 años.
- Modo 2: El periodo de implementación de la medida es de 7 años.
- Modo 3: El periodo de implementación de la medida es de 7 años.

- g. **Impacto en el inventario de emisiones:** En las figuras FM1.A a FM1.C se presenta el impacto de la medida en las emisiones provenientes de los vehículos particulares. No se

presenta el impacto en las emisiones de CO₂ ya que el efecto es despreciable (menor al 1%) para todos los modos de implementación de la medida respecto al escenario tendencial. Esta medida no tiene impacto en las emisiones de PM.

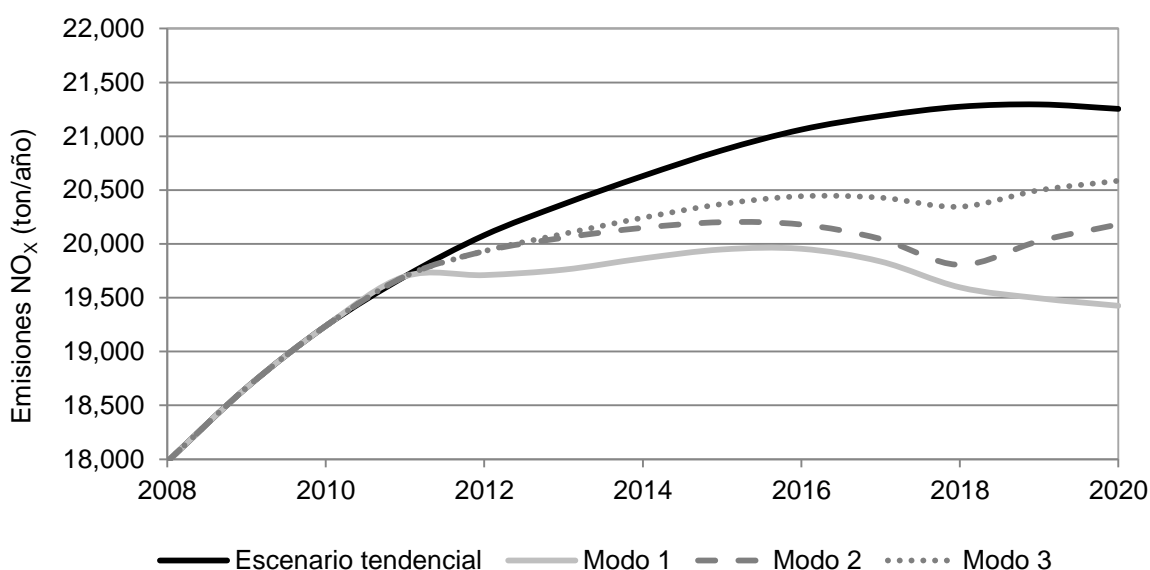


Figura FM1.A. Impacto de la medida en las emisiones de NO_x de los vehículos particulares en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.

En la Figura FM1.A. se presenta el comportamiento de las emisiones totales de NO_x de la flota de vehículos particulares en Bogotá. En el escenario tendencial, principalmente como consecuencia del crecimiento de la flota aumentan las emisiones en el tiempo. Sin embargo, como se evidencia en la figura con el paso del tiempo la tasa de crecimiento del NO_x se hace más lenta e incluso cerca al año 2020 tiende a caer. Este comportamiento se espera como consecuencia de dos factores: 1) la mejora tecnológica asociada a los modelos más recientes y 2) la salida de circulación de los vehículos más antiguos debido a la tasa natural de chatarrización de la flota. Este comportamiento en el escenario tendencial significa que si bien en Bogotá habrá más vehículos particulares, éstos serán más limpios que los existentes hoy en día.

Las tres líneas grises representan cada uno de los modos de implementación de la medida. Es claro que los efectos del Modo 1 son mayores que los de los otros dos modos, esto es consecuencia de metas más exigentes en comparación a las de los otros dos modos de implementación.

Para los tres modos se puede ver una serie de oscilaciones hacia el final del horizonte de implementación. Este fenómeno está asociado al efecto de la interacción entre el número de fuentes nuevas y el mejoramiento del desempeño de catalizadores antiguos. Nótese que a partir del año 2016 el crecimiento de las emisiones tiene una tendencia negativa, esto es porque el efecto conjunto de los catalizadores renovados y las mejoras tecnológicas de los nuevos vehículos es más importante que el efecto en las emisiones debido al aumento en el número de fuentes. En los modos 2 y 3 se observa un crecimiento en los últimos dos años debido a que estos modos se proponen sólo hasta el año 2018 de manera que la tendencia recupera su crecimiento natural.

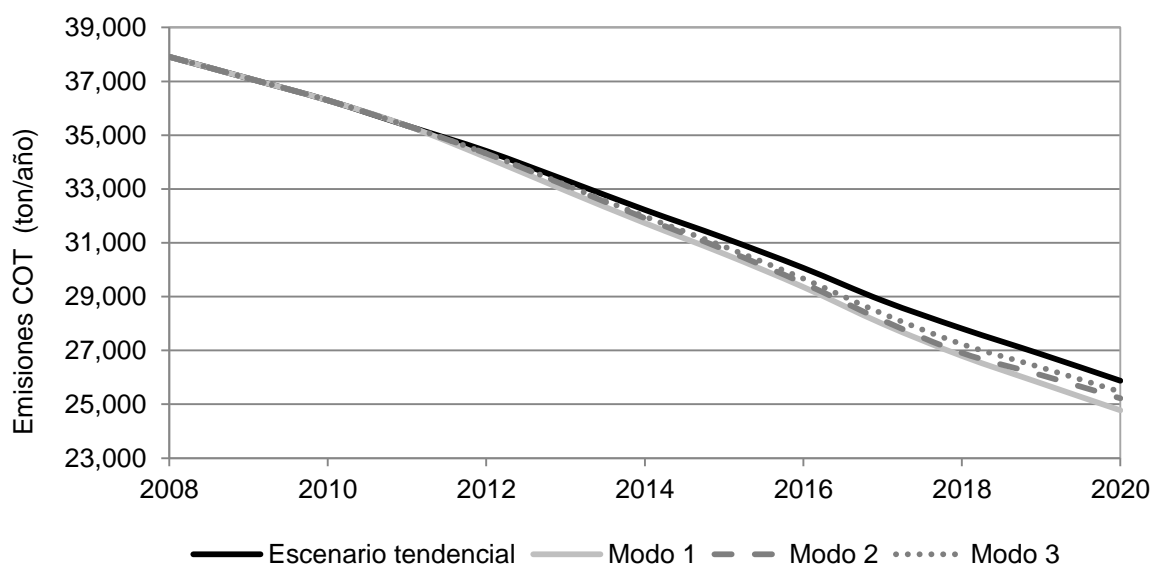


Figura FM1.B. Impacto de la medida en las emisiones de COT de los vehículos particulares en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.

La Figura FM1.B muestra las tendencias de las emisiones de COT según el modo de implementación. En el escenario tendencial las emisiones tienden a disminuir en el tiempo. Esto se debe a que las mejoras tecnológicas proyectadas para este contaminante superan el impacto que tiene el aumento en el número de fuentes. La gradualidad de las mejoras tecnológicas se estimó considerando la gradualidad observada en el comportamiento histórico de las normas de emisión de otras regiones del mundo.

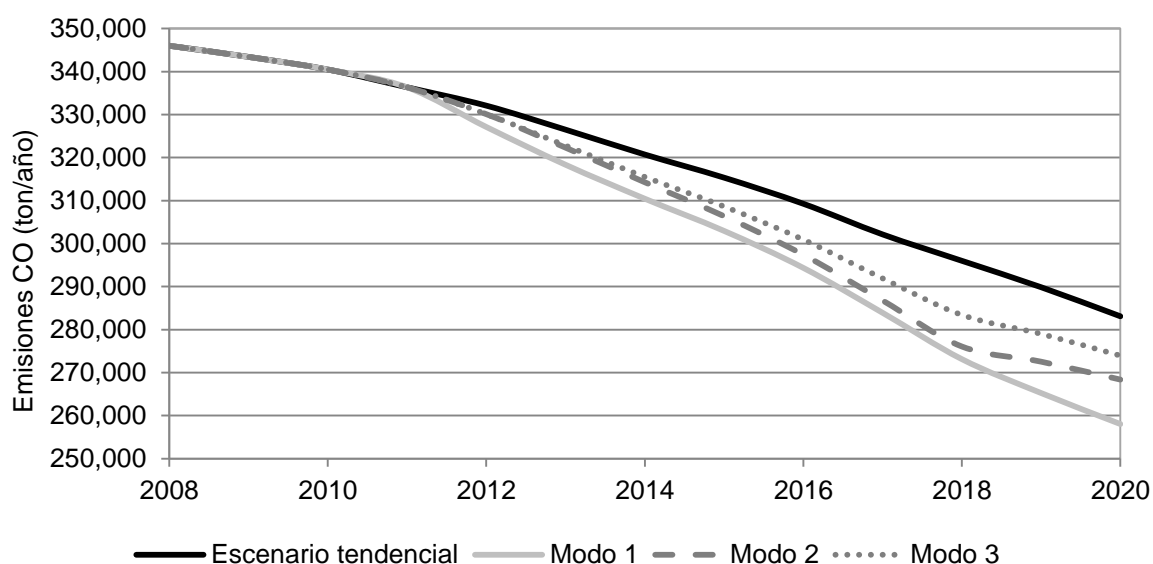


Figura FM1.C. Impacto de la medida en las emisiones de CO de los vehículos particulares en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.

En la Figura FM1.C se observa que las emisiones de CO tienen un comportamiento similar al que se presenta para COT, pero para el monóxido de carbono el efecto de

cada modo es más marcado. Esto se debe a que el proceso de envejecimiento del catalizador afecta porcentualmente en mayor medida las emisiones de CO que de COT. De acuerdo a la metodología seguida para estimar los beneficios de la medida, el cambio de un catalizador de diez años de edad permite reducciones del 30% en las emisiones de CO mientras que el beneficio en COT es de un 17%.

h. Beneficios en exposición personal:

- Se considera alto el beneficio en exposición personal de esta medida por las siguientes razones: reducción de eventos agudos de exposición al interior de la cabina de los vehículos que cuenten con convertidores catalíticos en funcionamiento; disminución de eventos agudos de contaminación por CO en espacios poco ventilados relacionados con el uso de vehículos particulares como sótanos y parqueaderos cubiertos; disminución de la exposición de la población en microambientes relacionados con tráfico vehicular, como las aceras; reducción en la exposición a ozono asociada con la disminución del potencial de formación de ozono.

- i. Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla FM1.B se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla FM1.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la compra de convertidores catalíticos.	Negativo
	Gastos adicionales para adquirir los convertidores catalíticos por parte de los propietarios en caso de que sean éstos quienes deban pagar directamente la renovación del dispositivo.	Negativo
	Surgimiento de nuevos mercados asociados a la compra masiva de convertidores catalíticos.	Positivo
Social	Mayor conciencia ambiental de los usuarios y propietarios de los vehículos particulares.	Positivo
	Generación de empleo relacionada con la adquisición e instalación de los convertidores catalíticos.	Positivo
Educación	Capacitación a los empleados de talleres para la instalación de los convertidores catalíticos.	Positivo
Ambientales	Generación de residuos sólidos por el reemplazo de convertidores catalíticos obsoletos.	Negativo

- j. Análisis de costos:** En la Tabla FM1.C se presenta el costo total para los tres modos de implementación evaluados. En la Tabla FM1.D se presenta el costo por tonelada reducida de CO, COT y NO_x.

Tabla FM1.C. Costo total.

Modo	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	950,000
Modo 2	620,000
Modo 3	420,000

Tabla FM1.D. Costo por tonelada de contaminante reducida.

Modo	Millones de pesos por tonelada de CO reducida	Millones de pesos por tonelada de COT reducida	Millones de pesos por tonelada de NO _x reducida
Modo 1	7	147	91
Modo 2	9	204	128
Modo 3	14	296	187

- k. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla FM1.E. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Ambiente	– Liderar el proceso de implementación de la medida.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados. – Buscar apoyo internacional para aprovechar la experiencia de países y entidades expertos en la implementación de programas de uso convertidores catalíticos. – Prestar servicios de asesoría técnica y financiera al sector de la industria encargado de la comercialización de los convertidores catalíticos. – Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan realizar el reemplazo de los catalizadores si es la administración local la que decida asumir directamente los costos totales o parciales de la medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los propietarios de los vehículos particulares. – Realizar actividades de control y seguimiento a la medida. – Liderar programas de capacitación técnica en conjunto con el SENA para la instalación de los convertidores a los talleres mecánicos. Este debe contar con el apoyo de las casas matrices de los automotores. – Crear programas de manejo de los residuos generados por el reemplazo de los convertidores catalíticos.
SENA	– Liderar el proceso de capacitación de operarios en el manejo e instalación de los convertidores catalíticos.
Secretaría de Movilidad	– Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

Tabla FM1.F. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Empresas comercializadoras de convertidores catalíticos	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso de concertación entre sectores. – Dar información sobre los sistemas disponibles en el mercado.
Casas matrices	<ul style="list-style-type: none"> – Dar garantía a los propietarios de vehículos nuevos sobre el convertidor catalítico. – Recomendar las mejores opciones tecnológicas para el reemplazo de los convertidores catalíticos teniendo en cuenta las diferentes características específicas de operación de los vehículos.
Talleres de mecánica	<ul style="list-style-type: none"> – Capacitarse en la instalación de los convertidores catalíticos. – Realizar los cambios en infraestructura necesarios para la implementación de la medida. – Seguir las recomendaciones de las autoridades acerca del manejo de los residuos generados con esta medida.

Tabla FM1.G. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Propietarios de los vehículos particulares	<ul style="list-style-type: none"> – Participar en las actividades de divulgación de la medida propuestas por la autoridad. – Participar en la implementación de la medida en la manera propuesta por las autoridades. – Exigir información suficiente a las autoridades, casas matrices y comercializadores acerca de las consecuencias en el funcionamiento de los vehículos por el reemplazo de los convertidores catalíticos.

I. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Plan Maestro de Movilidad adoptado por el Distrito mediante el Decreto 319 del año 2006, el cual propone dentro de sus principios: sostenibilidad, reducción de los impactos ambientales y mayor eficiencia.
- Resolución 910 de 2008, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de los contaminantes que deberían cumplir las fuentes móviles terrestres.
- La Resolución 5 de 1996 en su Artículo 14 reglamenta la obligatoriedad en el uso de sistemas de control de emisiones en los vehículos con motor a gasolina a partir del año modelo 1997. En esto se sustenta que antes de dicha fecha los vehículos no contaban con convertidor catalítico.
- Resolución 3500 de 2005 establece las condiciones que deben cumplir los centros de diagnóstico automotor, para realizar las revisiones técnico-mecánica y de gases de los vehículos automotores que circulen por el territorio nacional.
- Resolución 378 de 1997, por medio de la cual se fijan las condiciones de expedición del certificado de emisiones por prueba dinámica. Según esto ya se cuenta con las herramientas legales para la implementación de las pruebas dinámicas de emisiones.
- Conpes 3344 de 2005 “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”, promueve las siguientes acciones: diseño de propuestas para incluir medidas de prevención y control de la contaminación del aire en las políticas y regulaciones de competencia del Ministerio de Transporte y el Ministerio de Minas y Energía.
- Ley 769 de 2002, por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito y se dictan otras disposiciones. Se dan condiciones acerca de la revisión Técnico Mecánica.

2. Instrumentos financieros disponibles:

Los gastos relacionados con la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones podrían ser asumidos total o parcialmente por los propietarios de los vehículos particulares o por el Distrito.

- Línea de crédito ambiental del Centro Nacional de Producción Más Limpia: Tiene la finalidad de aumentar las inversiones en tecnologías más limpias.
- Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas: Otorga cofinanciación para desarrollo tecnológico.
- Fonade: Línea de financiación de proyectos para fortalecimiento empresarial bajo principios de asistencia técnica e innovación tecnológica, esto incluye implementación de proyectos de reconversión industrial e implementación de nuevas tecnologías.
- Línea de Crédito Ambiental del Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales: Mecanismo para financiar inversiones que busquen un impacto positivo sobre el medio ambiente así como incrementar el desarrollo sostenible en el país.
- Instrumentos financieros ofrecidos por la Banca Multilateral (Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, Corporación Andina de Fomento, entre otros).
- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Decreto 3172 de 2003 para deducción de renta y Decreto 2532 de 2002 para IVA, pero no aplica para cumplir los niveles de emisión establecidos por la legislación sino para lograr niveles adicionales a los obligados por la normativa en reducción de emisiones.

3. Otros:

- Es necesario tener en cuenta los requerimientos (v.g., contenido de azufre en la gasolina) en cuanto a la calidad del combustible para la aplicación de los diferentes sistemas de control de emisión.
- Un aspecto que podría ser relevante en la implementación de la medida es exigir con los vehículos nuevos el certificado del catalizador y la garantía de funcionamiento durante el tiempo de vida útil del dispositivo, como se hace en otros lugares mundo.
- Crear capacidad en las entidades encargadas de dar asesoría técnica y financiera a las empresas participantes en la medida.
- Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida para los sectores afectados y para la ciudadanía en general.

m. **Barreras:**

- Falta de información confiable para los propietarios de los vehículos acerca de las efectos que pueda tener la renovación de los catalizadores en el funcionamiento de los vehículos.
- Oposición de los propietarios de los vehículos si deben asumir el costo de la adquisición e instalación de los convertidores catalíticos.
- La no existencia de un mercado nacional de convertidores catalíticos.
- Dificultad en la aplicación y en el control de la medida teniendo en cuenta que no todos los vehículos que circulan en la ciudad están matriculados en Bogotá.

- n. **Estrategias de implementación de la medida:** Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones que podrían considerarse al momento de definir el esquema de implementación que va a

seguirse para desarrollar esta medida. En la Figura FM1.D se presenta esquemáticamente las opciones identificadas para la implementación de esta medida.

Aspectos técnicos:

1. Seleccionar los vehículos, según el año modelo, que harán la renovación del convertidor catalítico según el modo de la medida que se vaya a implementar.
2. Identificar las características de los sistemas de control que deben ser instalados en los vehículos.
3. Identificar los proveedores presentes en el mercado actual y los proveedores potenciales, para establecer canales institucionales de comunicación y negociación con ellos.
4. Asegurarse que los talleres en donde se adelantan las revisiones técnico mecánicas, estén capacitados para diagnosticar el desgaste de los catalizadores.
5. La primera renovación se puede hacer con base en el año modelo del vehículo, y el kilometraje recorrido, teniendo en cuenta que no existe en Bogotá la cultura de renovación de los convertidores catalíticos. De ahí en adelante se podría hacer con base en la revisión técnico mecánica, fortaleciendo los controles.

Aspectos financieros:

1. Crear los incentivos financieros necesarios para impulsar la medida. Por ejemplo, reducción de impuestos o que el Distrito asuma una fracción del costo de la medida.
2. Regular los precios de los catalizadores en el mercado local.
3. Reducir los impuestos de importación de los catalizadores.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Crear una norma distrital que obligue a reemplazar los convertidores catalíticos que hayan cumplido con su tiempo de vida útil (10 años).
2. Verificar el cumplimiento de este requisito en la revisión técnico mecánica y en los operativos en vía que realiza la SDA.
3. El Distrito podría crear un programa de adquisición e instalación de los convertidores catalíticos asumiendo el costo total de la medida.

Aspectos educativos y de divulgación:

1. Crear programas de educación y divulgación de la medida, para poder obtener aceptación por parte de los sectores involucrados.
2. Crear programas de capacitación para los usuarios acerca del mantenimiento de los convertidores catalíticos.
3. Crear programas de capacitación para los talleres mecánicos con apoyo de los comercializadores de los convertidores acerca de los aspectos técnicos de la instalación y el mantenimiento de los mismos.
4. Integrar el componente ambiental a los cursos de conducción necesarios para la expedición de las licencias de conducción.
5. Impulsar campañas pedagógicas orientadas a los nuevos compradores articuladas por los concesionarios.

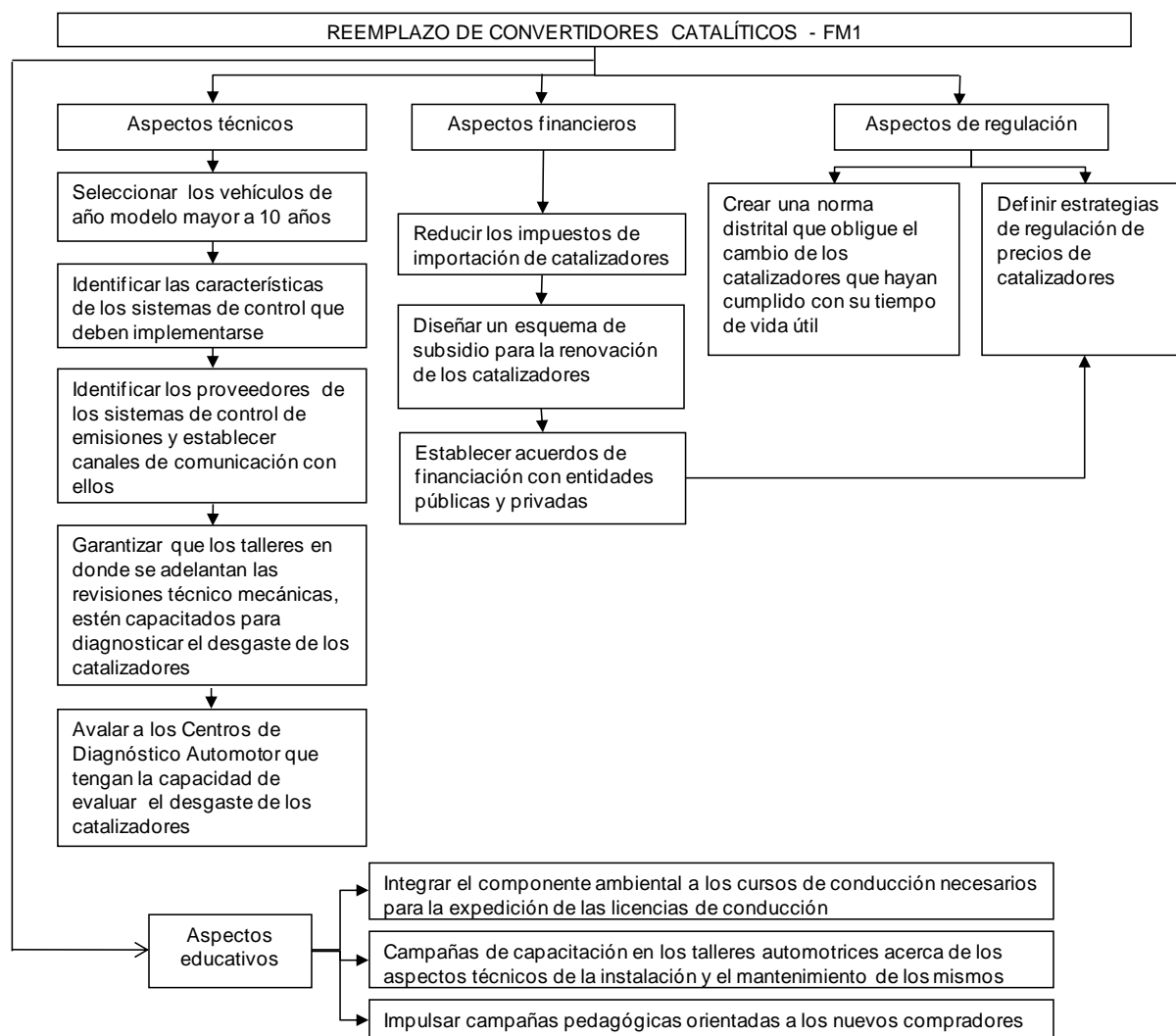


Figura FM1.D. Opciones de implementación de la medida.

6.2.2. Renovación de la Flota de Vehículos Particulares – FM2

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes móviles.
- b. **Categoría:** Transporte privado.
- c. **Descripción:** La edad promedio de los vehículos particulares en Bogotá es cercana a los 11 años. Esto significa que el 40% de la flota particular (modelos anteriores al año 1996) no cuenta con sistemas de control de emisiones, aportando más de la mitad de las emisiones de COT provenientes de vehículos particulares y un porcentaje similar para CO y NOx. Estos vehículos irán saliendo de circulación de manera natural con el paso del tiempo, pero puede ser provechoso acelerar este proceso ya que los modelos más recientes no sólo cuentan con catalizadores que reducen el factor de emisión sino con tecnológicas y estándares de calidad más exigentes que están relacionadas con condiciones de operación más limpias. Esta medida busca fomentar la renovación de vehículos particulares antiguos por modelos más recientes que están asociados con un mejor desempeño ambiental. La medida busca reemplazar por vehículos nuevos los vehículos más antiguos, sin incentivar el crecimiento de la flota.
- d. **Objetivo:** Acelerar el proceso de salida de circulación de los vehículos particulares a gasolina que no cuentan con sistema de control de emisiones y promover el uso de vehículos de año modelo más reciente.
- e. **Variaciones:** Se proponen tres modos de implementación de la medida en los que se varía la meta de renovación de los vehículos que tengan más de 20 años de uso o que sean de año modelo menor o igual a 1996, según como se presenta en la Tabla FM2.A.

Tabla FM2.A. Modos de renovación de la flota de vehículos particulares.

Modo		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Modo 1	Renovación vehículos >20 años	20%	30%	40%	50%					
	Renovación vehículos <modelo 1996					50%	50%	50%	50%	50%
Modo 2	Renovación vehículos >20 años	20%	30%	40%	50%					
	Renovación vehículos <modelo 1996					50%	50%			
Modo 3	Renovación vehículos >20 años	10%	15%	20%	25%	30%	35%			

- f. **Tiempo de implementación:**
 - Modo 1: El periodo de implementación de la medida es de 9 años.
 - Modo 2: El periodo de implementación de la medida es de 6 años.
 - Modo 3: El periodo de implementación de la medida es de 6 años.
- g. **Impacto en el inventario de emisiones:** En las figuras FM2.A a FM2.E se presenta el impacto de la medida en las emisiones provenientes de los vehículos particulares en comparación con las emisiones provenientes de esta categoría en el escenario tendencial.

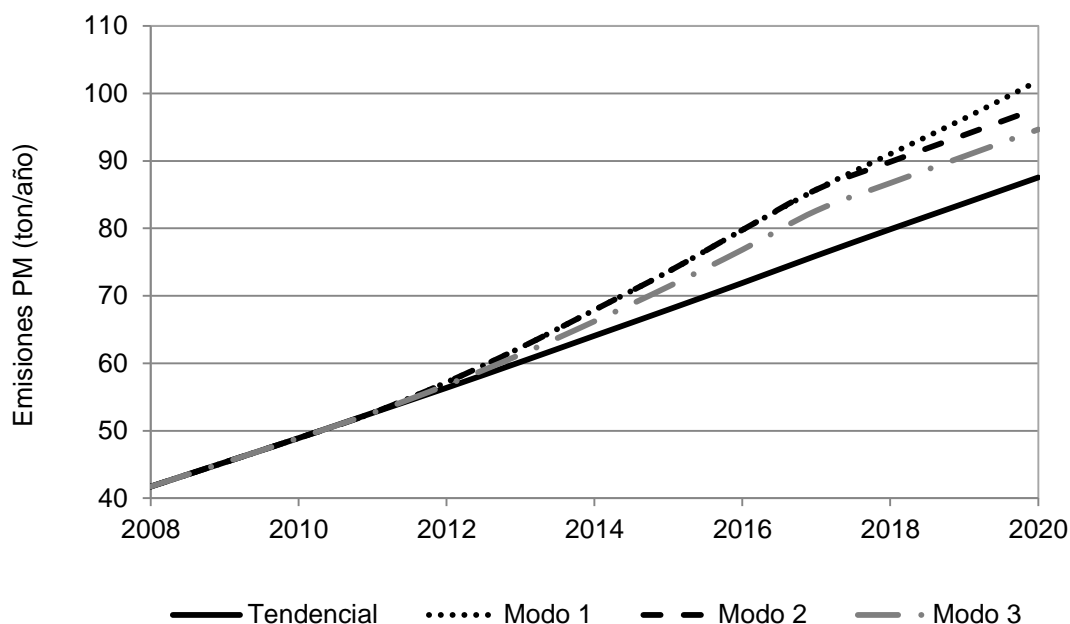


Figura FM2.A. Impacto de la medida en las emisiones de PM de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

En la figura FM2.A se presenta el comportamiento de las emisiones de material particulado para los años 2008 a 2020. Debido a que los motores de gasolina presentan factores de emisión de PM relativamente bajos en comparación con los diesel, éste contaminante no ha sido prioridad en las mejoras tecnológicas que se hacen a los vehículos y por lo tanto el factor de emisión es constante en el periodo de análisis del plan. Esto explica el comportamiento lineal creciente del escenario tendencial ya que no hay cambios importantes en las variables que determinan las emisiones salvo en el aumento del número de fuentes.

Las tendencias de los modos de implementación de la medida muestran un claro aumento las emisiones totales, siendo el Modo 1 el que presenta los mayores incrementos. Esto se debe a que según como ha sido evidenciado en diferentes estudios, los vehículos nuevos están asociados con un mayor uso. La combinación de aumentar el factor de actividad promedio de la flota sin alterar significativamente los factores de emisión resulta en un aumento en las emisiones de PM al renovar la flota de vehículos particulares. Cabe anotar que el aumento no es significativo en el inventario total de emisiones.

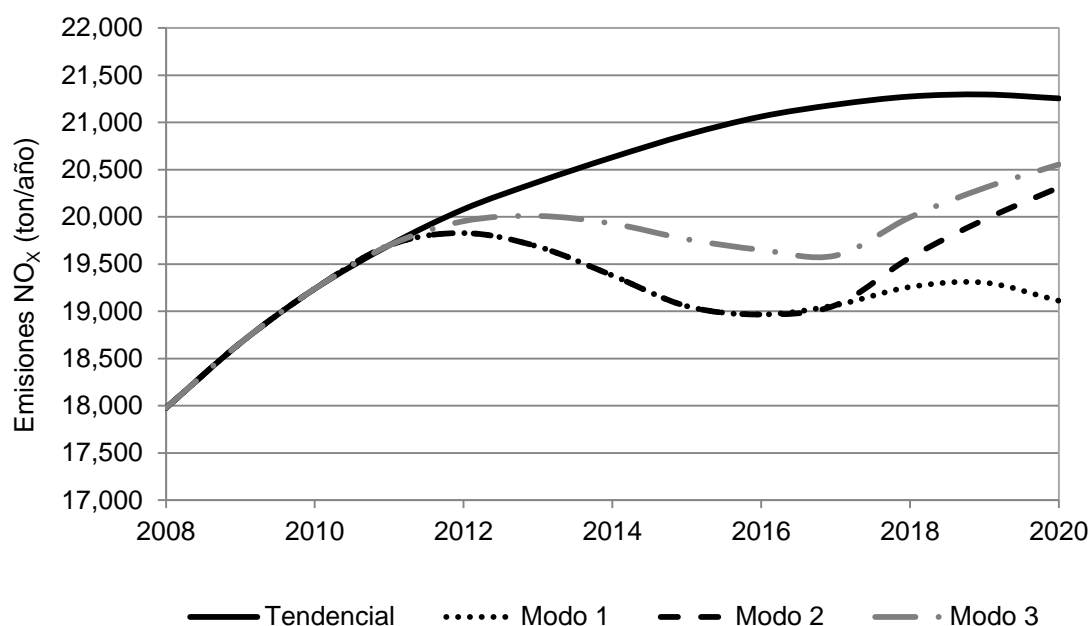


Figura FM2.B. Impacto de la medida en las emisiones de NO_x de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

En la Figura FM2.B se presenta el comportamiento de las emisiones de NO_x de los vehículos particulares para los distintos modos de implementación de la medida. Los modos 2 y 3 presentan una reducción importante desde el año 2012 como consecuencia de la implementación de la medida, seguida por un aumento desde el año 2017 cuando finaliza la medida. En el Modo 1 existe un ligero aumento en las emisiones en el año 2017 esto es consecuencia de la interacción de diferentes factores como son: 1) en el método de implementación diseñado cada año se renuevan menos vehículos y 2) hacia el final del horizonte las tasas de crecimiento de la flota son mayores. Aun así este escenario representa ventajas respecto al escenario tendencial.

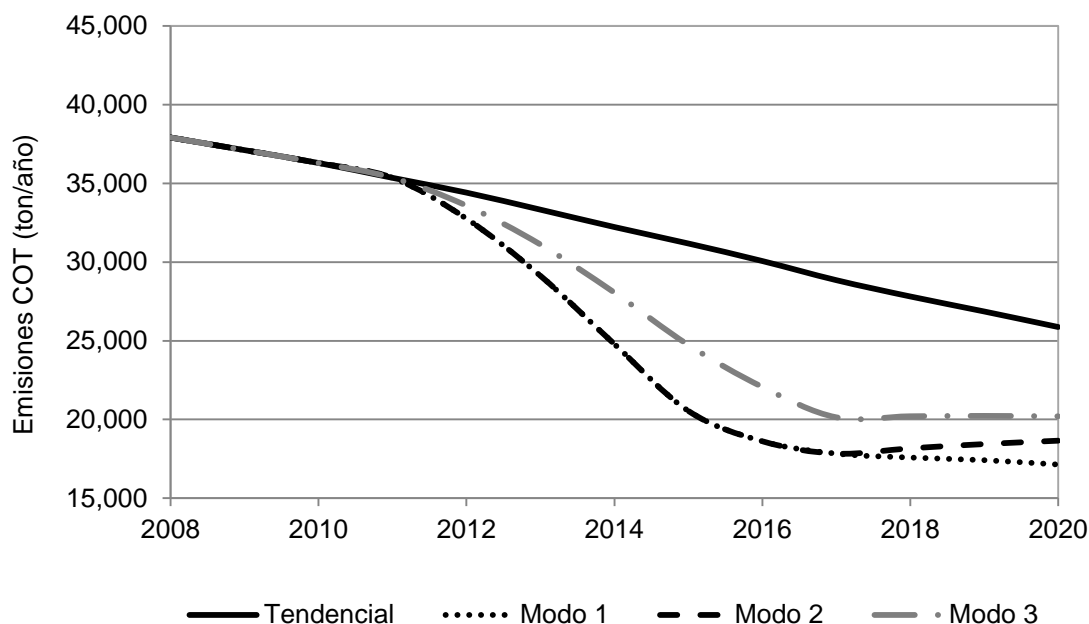


Figura FM2.C. Impacto de la medida en las emisiones de COT de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

La figura FM2.C muestra una clara reducción en las emisiones de COT con la implementación de la medida en los tres modos. Como se puede ver en la figura, los mayores efectos se dan en los primeros años debido a que en esos años se reemplaza un mayor número de vehículos antiguos. En los últimos años la tendencia que traía en reducción de emisiones se ve compensada por el crecimiento de la flota.

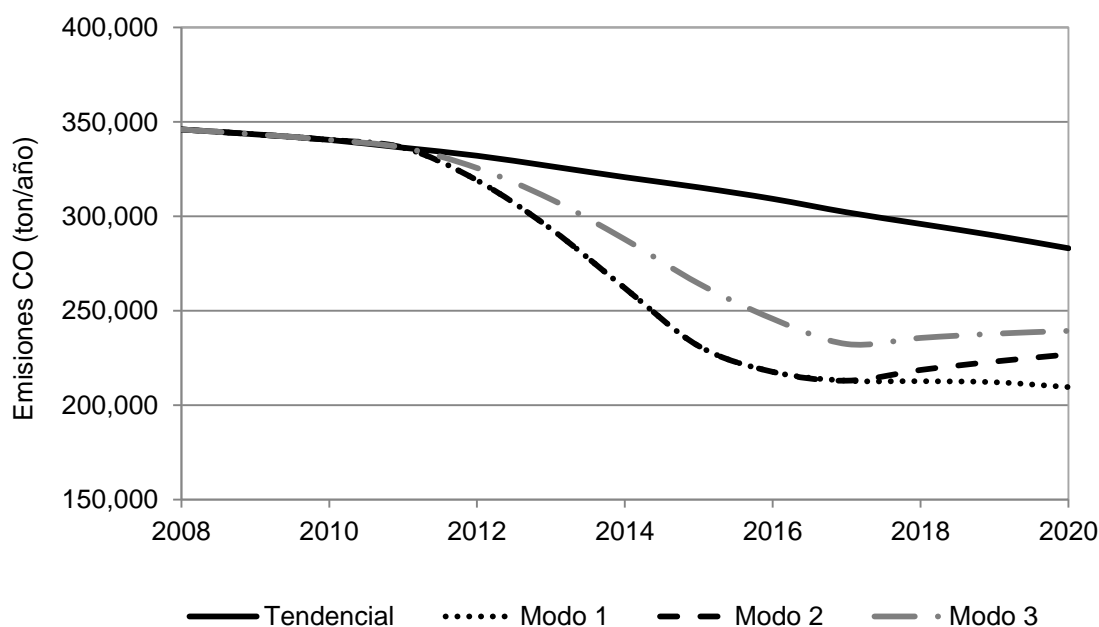


Figura FM2.D. Impacto de la medida en las emisiones de CO de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

El comportamiento del CO es similar al de COT y se explica por las mismas razones. A diferencia del mayor impacto para CO en la medida de cambio de catalizadores, en la

medida de renovación se ve un impacto similar para éstos dos contaminantes. Esto se debe a que los porcentajes de reducción en los factores de emisión debido a una mejora tecnológica (adquisición de vehículos nuevos) son similares para monóxido de carbono y los compuestos orgánicos totales.

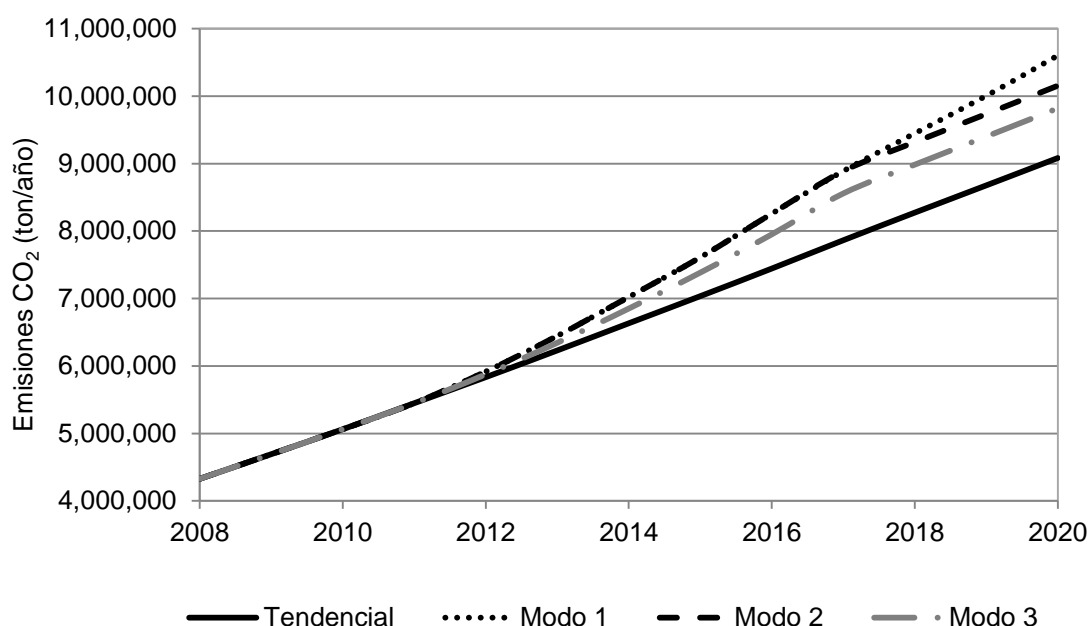


Figura FM2.E. Impacto de la medida en las emisiones de CO₂ de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

En la Figura FM2.E se presenta la tendencia de las emisiones de CO₂ para el escenario tendencial y para los tres modos de implementación de la medida. El escenario tendencial muestra un claro crecimiento en las emisiones a lo largo de los años asociado principalmente al aumento en el número de fuentes. El aumento en las emisiones en los modos de implementación es consecuencia del mayor factor de actividad asociado a la renovación de la flota.

h. Beneficios en exposición personal:

- Se considera alto el beneficio en exposición personal de esta medida por las siguientes razones: tendría efecto sobre los niveles de contaminación de las diferentes vías de la ciudad; reducción de los niveles de contaminación al interior de los vehículos que sean reemplazados por modelos recientes; disminución de la exposición de la población en microambientes relacionados con tráfico vehicular, como las aceras; reducción en la exposición a ozono asociada con la disminución del potencial de formación de ozono.

i. Impactos sobre otros sectores: En la Tabla FM2.B se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla FM2.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Altas inversiones asociadas a la compra de vehículos nuevos, podría reducir la inversión en otras áreas.	Negativo
	Disminución en los costos de operación y mantenimiento de los vehículos que se renueven en comparación con los costos de los vehículos más antiguos.	Positivo
	Impulso del mercado automotriz nacional.	Positivo
Social	Incremento de la conciencia ambiental de los usuarios y propietarios de los vehículos particulares.	Positivo
	Mejoras en niveles de seguridad vial, por la adquisición de vehículos de año modelo más reciente.	Positivo
	Mejora en la sensación de comodidad al viajar para las personas que reemplacen su vehículo por uno de un modelo más reciente.	Positivo
Ambientales	Generación de residuos sólidos por la chatarrización de vehículos.	Negativo

- j. **Análisis de costos:** En la Tabla FM2.C se presenta el costo total para los tres modos de implementación evaluados. En la Tabla FM2.D se presenta el costo por unidad de tonelada de contaminante reducida.

Tabla FM2.C. Costo total.

Escenario	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	22,100,000
Modo 2	14,360,000
Modo 3	9,480, 000

Tabla FM2.D. Costo por tonelada de contaminante reducida.

Modo	Millones de pesos por tonelada de CO reducida	Millones de pesos por tonelada de COT reducida	Millones de pesos por tonelada de NO _x reducida
Modo 1	37	295	1,538
Modo 2	25	200	1,177
Modo 3	24	189	1,146

- k. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla FM2.E. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Casas matrices	– Participar de manera propositiva en la implementación de la medida en sus diferentes etapas.

Tabla FM2.F. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Propietarios de los vehículos particulares	– Participar en las actividades de divulgación de la medida propuestas por la autoridad. – Participar en la implementación de la medida en la manera propuesta por las autoridades.

Tabla FM2.G. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Ambiente	– Liderar el proceso de implementación de la medida.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	– Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados. – Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan realizar el reemplazo de los vehículos si es la administración local la que decida asumir directamente los costos totales o parciales de la medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	– Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los propietarios de los vehículos particulares. – Realizar actividades de control y seguimiento a la medida. – Crear programas para la adquisición de los vehículos nuevos, con los cuales se garantice que están saliendo de circulación los más antiguos. Asimismo, dar opciones de financiación total o parcial para el reemplazo específico de estos vehículos. – Crear programas de manejo de los residuos generados por la chatarrización de los vehículos más antiguos.
Secretaría de Movilidad	– Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

I. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Política nacional de calidad del aire (MAVDT, 2008) en el que se prevé la necesidad de “continuar con la ejecución de planes a nivel nacional para la renovación del parque automotor y de los programas de desintegración que se han adelantado hasta el momento”.
- El Decreto 948 de 1995, establece en su Artículo 39, acerca de la obsolescencia del parque automotor: “El Ministerio del Medio Ambiente, previa consulta con el Ministerio de Transporte, o los municipios o distritos, podrán establecer restricciones a la circulación de automotores por razón de su antigüedad u obsolescencia, cuando sea necesario para disminuir los niveles de contaminación en zonas urbanas”.
- Plan Maestro de Movilidad adoptado por el Distrito mediante el Decreto 319 del año 2006, propone dentro de sus principios: sostenibilidad, reducción de los impactos ambientales y mayor eficiencia.
- Resolución 910 de 2008, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de los contaminantes que deberían cumplir las fuentes móviles terrestres.
- Conpes 3344 de 2005 “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”, promueve las siguientes acciones: diseño de propuestas para incluir medidas de prevención y control de la contaminación del aire en las políticas y regulaciones de competencia del Ministerio de Transporte y el Ministerio de Minas y Energía.

2. Instrumentos financieros disponibles:

- Si es el propietario quien debe pagar directamente el costo de adquisición del nuevo vehículo, las diferentes entidades comerciales financieras ofrecen créditos para este propósito.

3. Necesidad de creación de instrumentos financieros:

En caso de que sean los propietarios quienes van a asumir el costo total del vehículo nuevo, se propone la creación de créditos de financiación más convenientes para este fin.

Asimismo, se considera necesario crear incentivos financieros para que la medida sea viable. Se considera la opción de evaluar si el Distrito debe asumir una parte de los costos, como puede ser el de la chatarrización o el de reducir los impuestos de importación, únicamente para los vehículos nuevos que entren a reemplazar a los vehículos antiguos que salgan de circulación. Con esta medida se busca reemplazar los vehículos más antiguos de la flota por modelos más recientes sin incentivar el crecimiento de la tasa de motorización de los vehículos particulares.

4. Otros:

- Necesidad de creación de programas de chatarrización para los vehículos más obsoletos.
- Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida.

m. Barreras:

- Limitaciones económicas para que los dueños de los vehículos más antiguos los puedan reemplazar por vehículos nuevos.
- Oposición de los propietarios de los vehículos si deben asumir el costo completo de la adquisición de los vehículos nuevos.
- Dificultad en el control de la salida de circulación de los vehículos más antiguos.
- Dificultad en el control de los vehículos que deban acogerse a la medida teniendo en cuenta que hay vehículos que circulan en la ciudad pero están matriculados en otras partes.

- n. Estrategias de implementación de la medida:** Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones que podrían considerarse al momento de definir el esquema de implementación que va a seguirse para desarrollar esta medida. En la Figura FM2.F se presentan mediante un diagrama lógico diferentes opciones de implementación de la medida.

Aspectos técnicos:

1. Definir el año modelo de los vehículos a partir del cual se aplicará la medida.
2. Identificar según la base de datos de Secretaría de Movilidad el número de vehículos que deberían acogerse a la medida.

Aspectos educativos:

1. Iniciar programas de concientización y divulgación de la medida, con el fin de obtener aceptación por parte del sector afectado.
2. Crear programas de educación acerca de las ventajas de las buenas prácticas de mantenimiento de los vehículos como apoyo a la medida.

Aspectos financieros:

1. El Distrito podría asumir una proporción del costo de la adquisición de los nuevos vehículos para reemplazar a los más antiguos. Para la chatarrización de los vehículos privados podría concebirse un programa similar al del fondo para el mejoramiento de la calidad del servicio que se usa en el transporte público pero usando recursos provenientes del SOAT, por ejemplo.
2. Los vehículos que se vean por las herramientas financieras de ésta medida únicamente deben ser los destinados al reemplazo de los más antiguos.
3. Se podría evaluar la opción, con el Ministerio de Hacienda de reducir los costos de importación de los vehículos, específicamente los que tengan como finalidad reemplazar a los de la flota más antigua de la ciudad.
4. A través de un esquema de cooperación entre el Distrito y el sector privado crear un programa en el que los concesionarios puedan recibir los vehículos viejos como parte de pago de vehículos nuevos. El Distrito podría comprar los carros involucrados en el intercambio para chatarrizarlos.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Crear una norma distrital que obligue a salir de circulación a todos los vehículos matriculados en Bogotá que tengan más de 20 años.
2. Diseñar un sistema que garantice que los vehículos más antiguos efectivamente están saliendo del mercado y que los vehículos nuevos que involucra esta medida tienen como función reemplazar a los que salieron de circulación por su antigüedad.

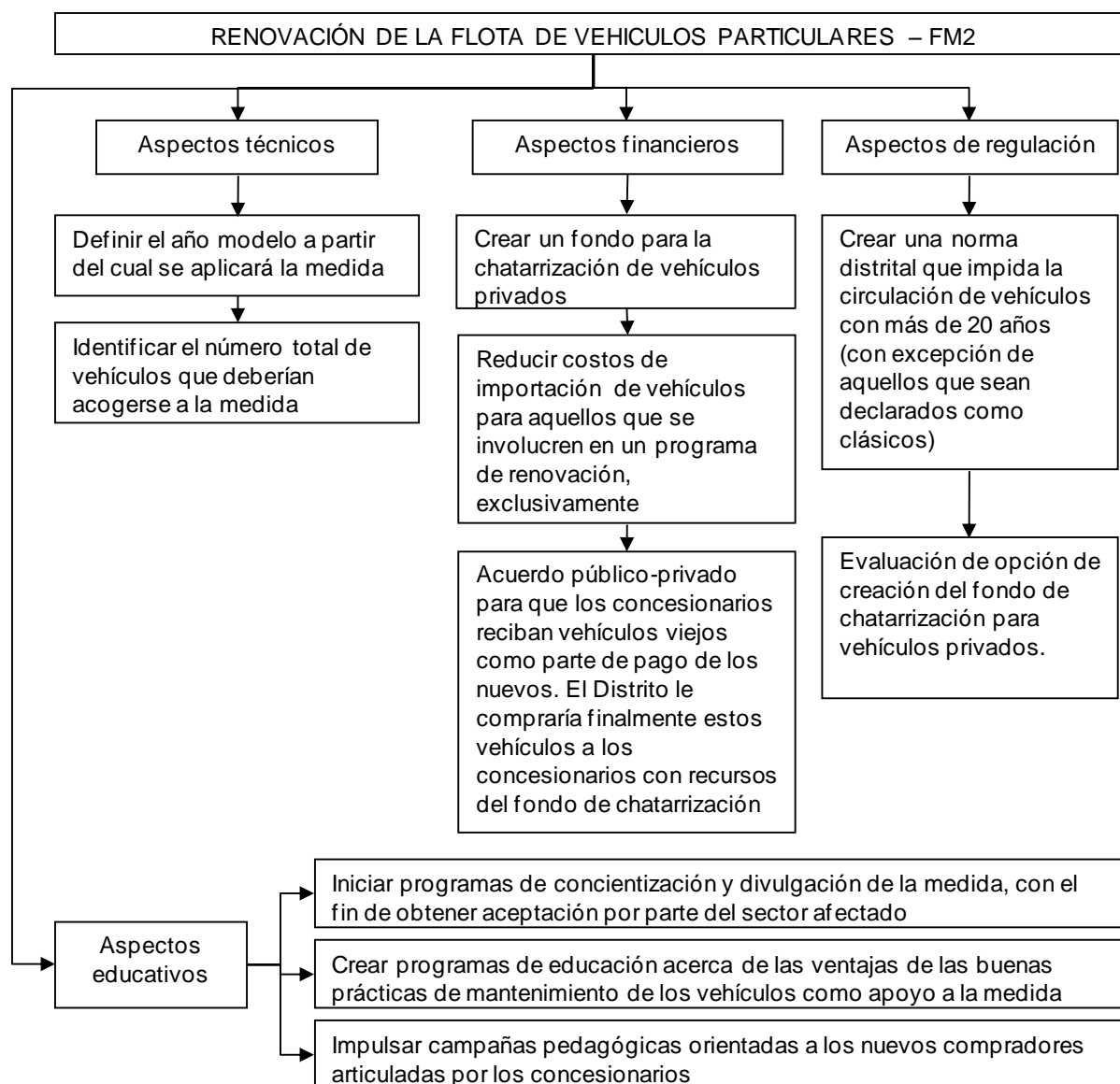


Figura FM2.F. Mecanismos de implementación de la medida.

6.2.3. Renovación de la Flota de Vehículos Particulares y Adicionalmente Reemplazo de Convertidores Catalíticos – FM3

a. **Tipo de fuente:** Fuentes móviles.

b. **Categoría:** Transporte privado.

c. **Descripción:** Dos factores determinantes en las emisiones de vehículos particulares son el envejecimiento de los convertidores catalíticos y la existencia de vehículos que por su antigüedad no cuentan con este sistema de control de emisiones.

La renovación de catalizadores que han cumplido su ciclo de vida útil es una medida menos costosa en comparación con la renovación de la flota vehicular. Sin embargo, el beneficio de reemplazar los sistemas de control de emisiones es menor al beneficio que se obtiene con el cambio de vehículos antiguos por vehículos nuevos.

En esta medida se propone reemplazar por vehículos nuevos, los vehículos de año modelo anterior a 1996, los cuales no cuentan con sistemas de control de emisiones y renovar los convertidores de la flota de transporte particular remanente que hayan cumplido con su tiempo de vida útil.

d. **Objetivo:** Renovar los vehículos de año modelo anterior a 1996 y reemplazar los convertidores catalíticos que hayan cumplido su tiempo de vida útil.

e. **Variaciones:** Se proponen tres modos de implementación de la medida en los que se varía la meta de renovación de los vehículos con año modelo anterior a 1996, y se varía de la meta de reemplazo de los convertidores catalíticos que hayan cumplido su tiempo de vida útil, según como se presenta en la Tabla FM3.A.

Tabla FM3.A. Modos de renovación de convertidores catalíticos.

Modo		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Modo 1	Renovación de la flota	10%	20%	30%	40%	50%	60%	60%	60%	60%
	Reemplazo TWC ¹	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	80%	80%
Modo 2	Renovación de la flota	10%	20%	30%	40%	50%	50%			
	Reemplazo TWC	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%		
Modo 3	Renovación de la flota	20%	20%	20%	20%	20%	20%			
	Reemplazo TWC	20%	20%	20%	20%	20%	20%			

¹ Convertidor catalítico de tres vías (TWC).

f. **Tiempo de implementación:**

- Modo 1: El periodo de implementación de la medida es de 9 años.
- Modo 2: El periodo de implementación de la medida es de 7 años.
- Modo 3: El periodo de implementación de la medida es de 7 años.

g. **Impacto en el inventario de emisiones:** En las figuras FM3.A a FM3.E se presenta el impacto de la medida en las emisiones provenientes de los vehículos particulares, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

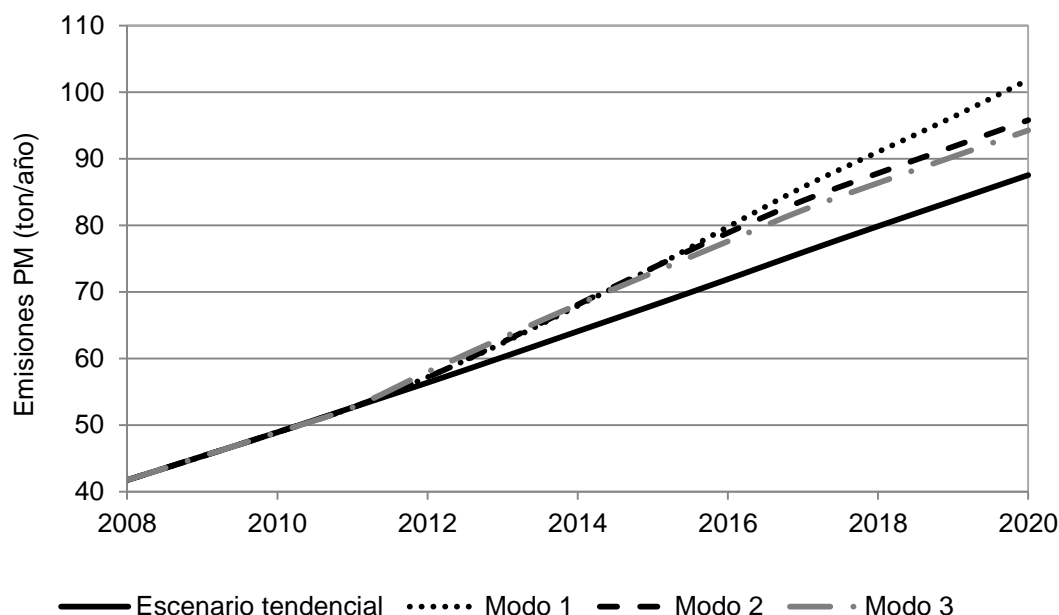


Figura FM3.A. Impacto de las medidas en las emisiones de PM de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.

En la Figura FM3.A se muestra el impacto en las emisiones de PM de los distintos modos de implementación de la medida en comparación con el escenario tendencial. Debido a que el cambio de catalizador tiene un efecto despreciable sobre las emisiones de material particulado, y no cambia el factor de actividad de la flota, el comportamiento en este caso es casi igual al que se presentó para la medida de renovación de la flota.

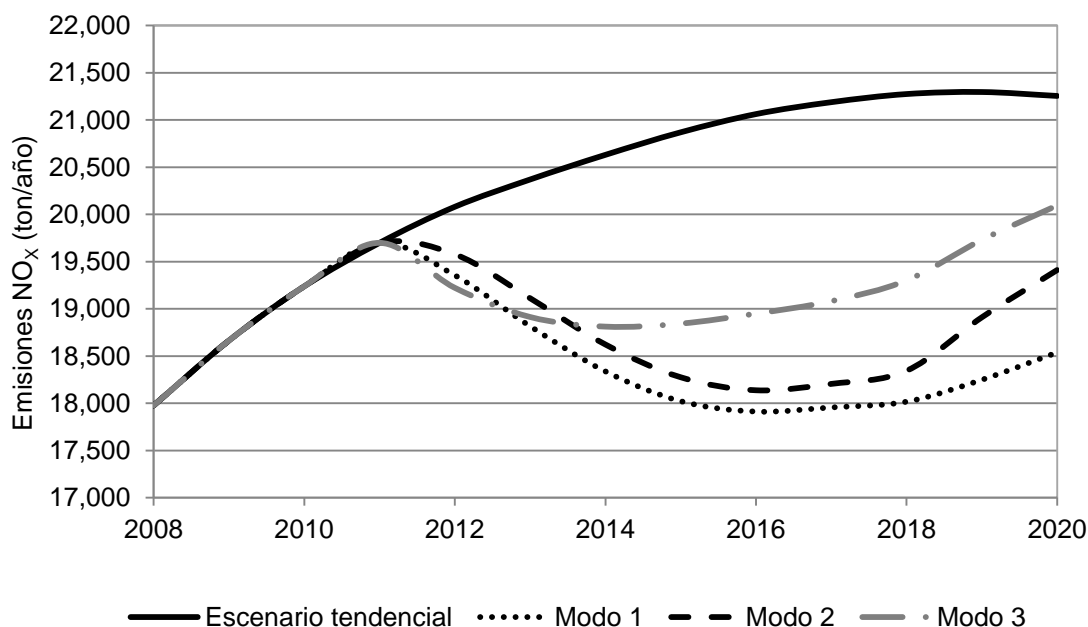


Figura FM3.B. Impacto de las medidas en las emisiones de NO_x de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.

En la Figura FM3.B se presenta el comportamiento de las emisiones de NO_x para las medidas combinadas (Reemplazo de convertidores catalíticos + Renovación de la flota vehicular). Al igual que sucede en las medidas cuando están separadas, se ve una pequeña oscilación de

las emisiones totales por parte de los vehículos particulares. Cabe anotar que esta medida busca reducir los costos totales de la medida de renovación mediante una reducción en el número de carros remplazados pero complementándola con la renovación de un número relativamente reducido de convertidores catalíticos. Al ver las figuras FM3.B y FM2.B resulta evidente que el comportamiento es similar al de la medida de renovación. Esto sugiere que el efecto en las emisiones depende en mayor proporción de la renovación de la flota que de la renovación de los sistemas de control de emisiones.

Una vez más se puede corroborar que el modo más ambicioso (Modo 1) resulta en reducciones más importantes al final del horizonte de análisis del plan debido a que el número total de vehículos renovados y el número total de convertidores catalíticos que se cambian, es superior. Sin embargo, nótese que el Modo 3 empieza con un porcentaje de renovación más estricto que el de los otros dos modos lo que explica la caída inicial de las emisiones, incluso por debajo de las emisiones iniciales de los modos 1 y 2. Esta observación corrobora la hipótesis de que el comportamiento de la medida combinada depende en gran parte del proceso de renovación de los vehículos.

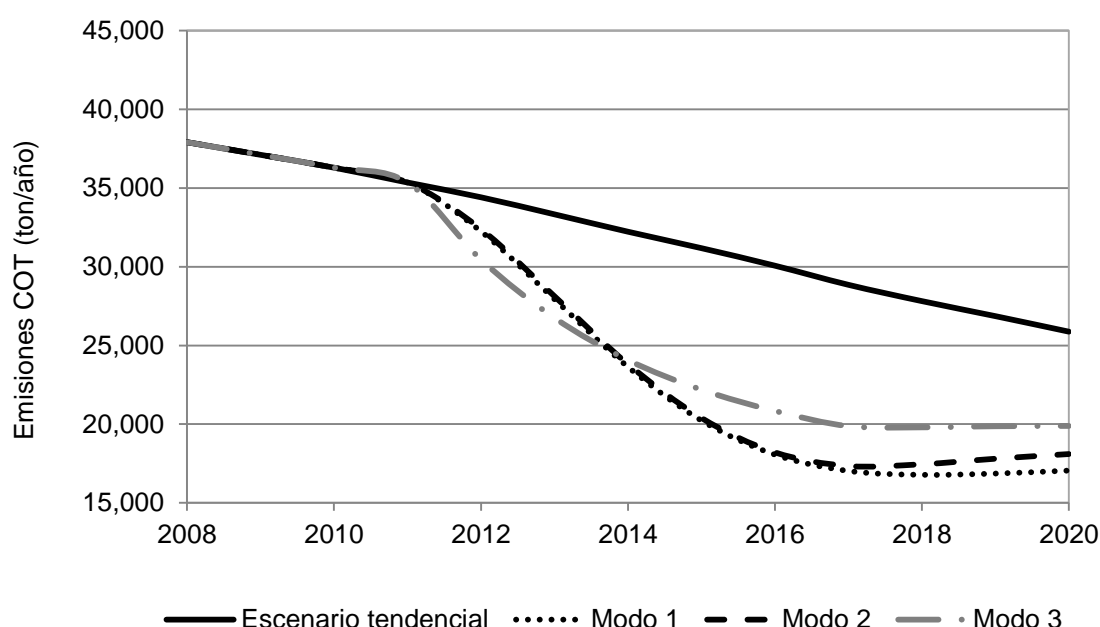


Figura FM3.C. Impacto de las medidas en las emisiones de COT de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.

El comportamiento de las emisiones en la Figura FM3.C es similar al observado en la medida de renovación de la flota. Teniendo en cuenta que la medida combinada es más económica que la medida de renovación individual, es alentador ver resultados parecidos que ilustran cierto grado de optimización del proceso. Lo mismo aplica para el comportamiento de las emisiones de CO que se muestran a continuación.

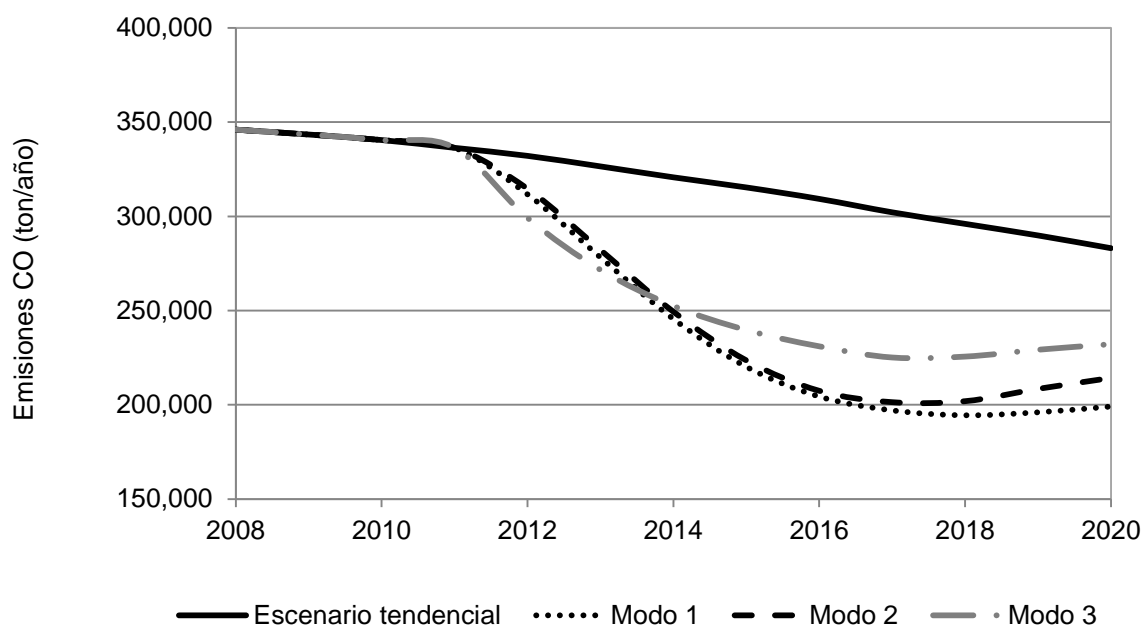


Figura FM3.D. Impacto de las medidas en las emisiones de CO de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.

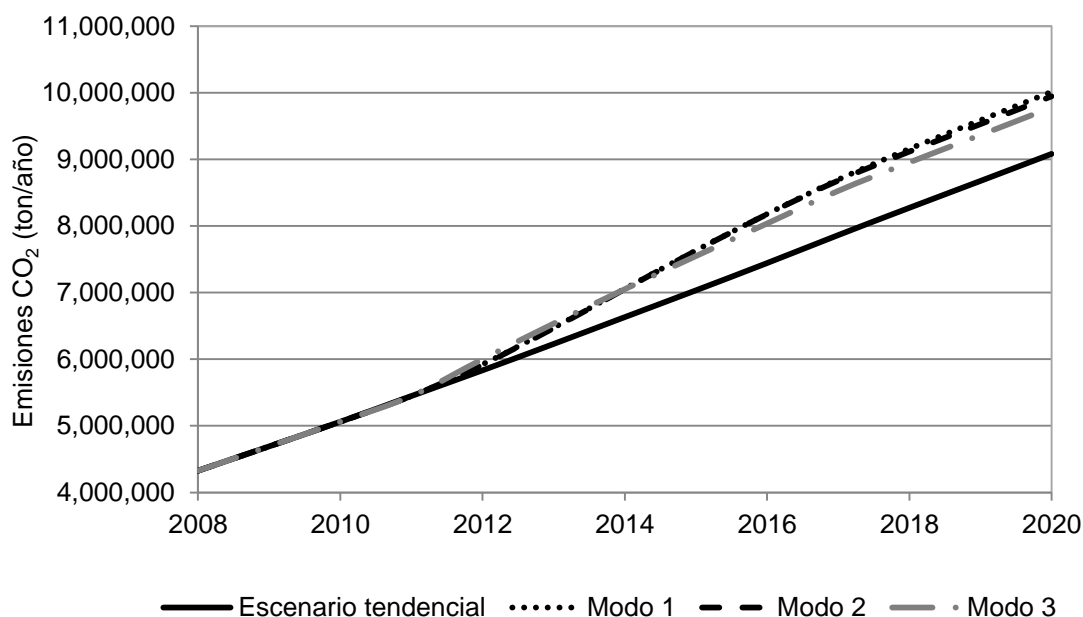


Figura FM3.E. Impacto de las medidas en las emisiones de CO₂ de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.

En la Figura FM3.E. se muestra el impacto en las emisiones de CO₂ de los distintos modos sobre el escenario tendencial. Debido a que el cambio de catalizador tiene un efecto despreciable sobre las emisiones de dióxido de carbono, y no cambia el factor de actividad de la flota, el comportamiento en este caso es casi igual al presentado en la medida de renovación de la flota.

h. Beneficios en exposición personal:

- Se considera alto el beneficio en exposición personal de esta medida por las razones que se mencionaron en el análisis para cada una de las medidas que la componen (ver análisis de renovación de los vehículos y reemplazo de convertidores catalíticos).
- i. Impactos sobre otros sectores:** Son los mismos que se expusieron para cada una de las medidas que componen ésta (ver análisis de renovación de los vehículos y reemplazo de convertidores catalíticos).
- j. Análisis de costos:** En la Tabla FM3.B se presenta el costo total para los tres modos de implementación evaluados. En la Tabla FM3.C se presenta el costo por unidad de tonelada de contaminante reducida.

Tabla FM3.B. Costo total.

Modo	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	12,960,000
Modo 2	11,930,000
Modo 3	9,700,000

Tabla FM3.C. Costo por tonelada de contaminante reducida.

Modo	Millones de pesos por tonelada de CO reducida	Millones de pesos por tonelada de COT reducida	Millones de pesos por tonelada de NO _x reducida
Modo 1	18	160	568
Modo 2	18	155	614
Modo 3	17	145	643

- k. Actores, instrumentos y herramientas de apoyo para la medida, barreras y estrategias de implementación de la medida:** Aplican los mismos que se expusieron para cada una de las medidas que componen ésta (ver análisis de renovación de los vehículos y reemplazo de convertidores catalíticos).

6.2.4. *Uso de Sistemas de Control de Emisiones en Motocicletas – FM4*

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes móviles.
- b. **Categoría:** Transporte privado, motocicletas.
- c. **Descripción:** El parque de motos en Bogotá está conformado por 120,000 motocicletas aproximadamente y según las proyecciones del crecimiento este valor puede llegar a triplicarse en los próximos diez años.

El aporte de las motocicletas al inventario de PM de fuentes móviles es comparable al de la flota de camiones, aportando cerca del 20% de las emisiones de este contaminante (ver Sección 1 del Documento de Trabajo). Dentro de este grupo, las motocicletas que cuentan con motor de dos tiempos representan menos del 10% de las motos de la ciudad, pero aportan más del 20% de las emisiones de PM de esta categoría vehicular.

A nivel nacional se han realizado diferentes acciones con el fin de restringir la adquisición y la circulación de las motocicletas que utilizan motores de dos tiempos. Para el caso de Bogotá, según el Decreto 35 de 2009, a partir del año 2009 no podrán registrarse en la ciudad motocicletas con motor de dos tiempos y su tránsito estará restringido a partir del año 2011.

En el PDDDB como complemento a las opciones mencionadas, se proponen medidas para las motos con motor a cuatro tiempos. El 90% de las motocicletas de la ciudad hacen parte de la categoría M2, y dentro de ésta el 95% corresponde a las motos con motor de cuatro tiempos con cilindraje inferior o igual a 250 c.c.

Según la literatura científica, el factor de emisión (FE) de PM de una moto típica de cuatro tiempos puede ser incluso mayor al de un vehículo de pasajeros de gasolina (dada la diferencia en los sistemas de control de emisiones, entre otros aspectos), y si bien para otros contaminantes criterio el FE es inferior en las motocicletas, el creciente número de fuentes en la ciudad hace que sea un sector a considerar en el plan de descontaminación.

- d. **Objetivo:** Reducir la emisión de contaminantes provenientes de las motocicletas que tienen motor a cuatro tiempos mediante la implementación de sistemas de control de emisiones.
- e. **Variaciones:** Se propone la implementación de sistemas de control de emisiones en todas las motocicletas de la categoría M2.

Se diseñaron cuatro modos de implementación de la medida en los que se varía el sistema de control de emisiones, según como se presenta a continuación:

- Modo 1: Instalar catalizadores oxidativos (OC) en todas las motocicletas con motor de cuatro tiempos de Bogotá. Todas las motocicletas que se registren a partir del año de implementación de la medida deben contar con un sistema de control de emisión que asegure reducciones en los factores de emisión comparables a los de dicho sistema.
- Modo 2: Instalar catalizadores (TW) en todas las motocicletas con motor de cuatro tiempos de Bogotá. Todas las motocicletas que se registren a partir del año de implementación de la medida deben contar con un sistema de control de emisión que garantice reducciones en los factores de emisión comparables a los de dicho sistema.
- Modo 3: Instalar catalizadores (TW) y un sistema de inyección secundario de aire (SAI) en todas las motocicletas con motor de cuatro tiempos de Bogotá. Todas las motocicletas que se registren a partir del año de implementación de la medida deben contar con un sistema de

control de emisión que asegure reducciones en los factores de emisión comparables a los de dicho sistema.

- Modo 4: Instalar catalizadores oxidativos (OC) y un sistema de inyección secundario de aire (SAI) en todas las motocicletas con motor de cuatro tiempos de Bogotá. Todas las motocicletas que se registren a partir del año de implementación de la medida deben contar con un sistema de control de emisión que asegure reducciones en los factores de emisión comparables a los de dicho sistema.

f. Tiempo de implementación: Para los cuatro modos de la medida se propone un tiempo de implementación de 5 años en lo que se refiere a la instalación de los nuevos equipamientos. Una vez cumplido este término, se habrá logrado un cubrimiento total de la flota y la medida continuará siendo aplicada en el futuro en lo que respecta a vehículos que entren a ser parte de la flota y que ya deberán contar con tecnologías equivalentes.

Si la medida se empezara a implementar en el año 2012 anualmente se instalarían entre 40,000 y 60,000 sistemas de control de emisiones aproximadamente.

g. Impacto en el inventario de emisiones: En las figuras FM4.A a FM4.E se presenta el impacto de la medida en la emisión de los contaminantes provenientes de las motocicletas, en comparación con la emisión que se tendría en el escenario tendencial para la misma categoría.

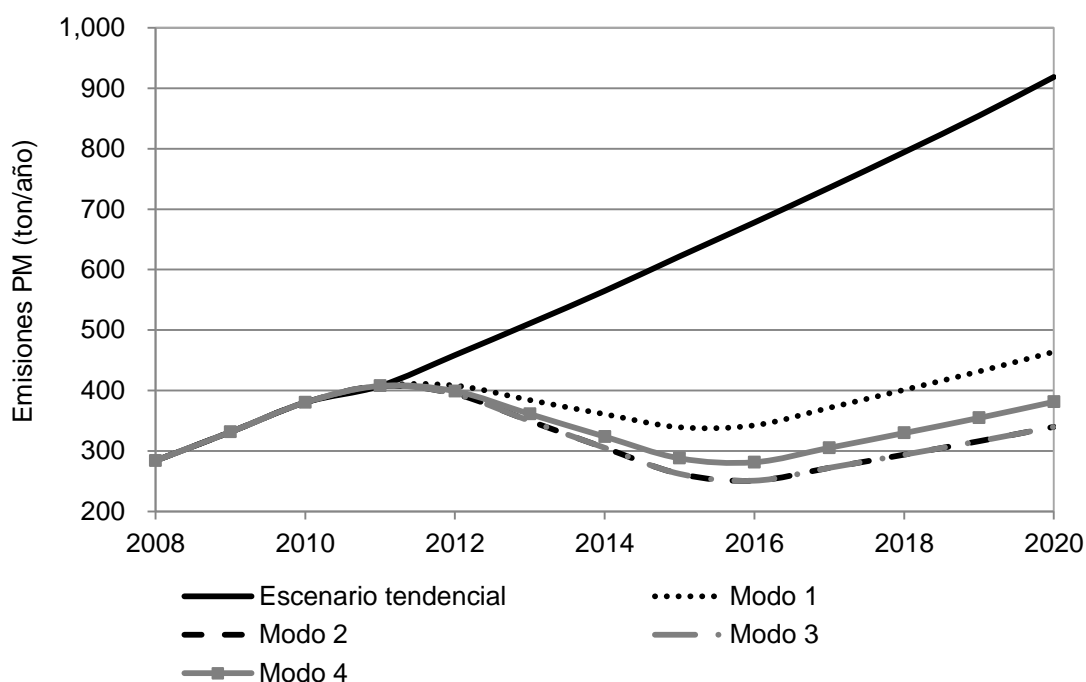


Figura FM4.A. Impacto de la medida en las emisiones de PM de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

En la Figura FM4.A se muestra la tendencia de las emisiones de PM de las motocicletas para los diferentes modos de implementación de la medida. En el escenario tendencial para las motocicletas se supuso que a futuro los factores de emisión serán iguales a los que se tienen hoy en día. Es por esto que las emisiones en el escenario tendencial crecen al ritmo de la motorización de ésta categoría. De las otras cuatro líneas se puede ver un claro efecto en las emisiones de material particulado sin importar el tipo de equipo de control de emisiones que se emplee. El modo 2 y el modo 3 presentan el mismo comportamiento debido a que las

diferencias en estos dos modos radican únicamente en la instalación de un sistema de inyección secundaria de aire (SAI). El aumento en los últimos años se debe al continuo crecimiento en la motorización causando así que las reducciones asociadas a los sistemas de control de emisiones no superen el efecto del aumento en el número de fuentes.

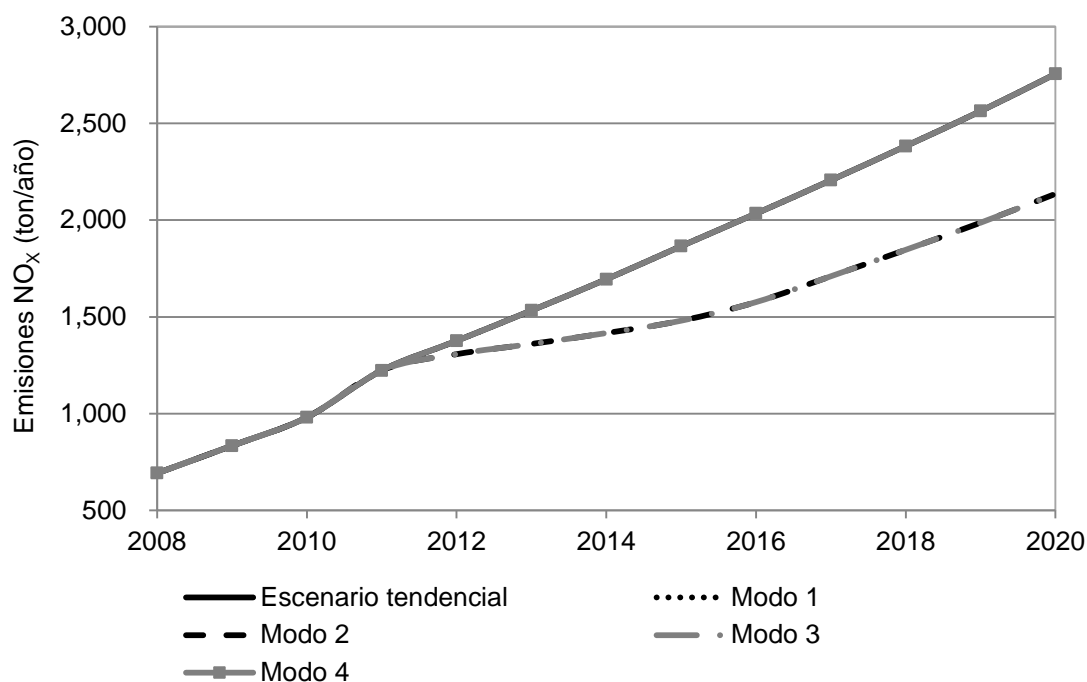


Figura FM4.B. Impacto de la medida en las emisiones de NO_x de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

En la Figura FM4.B es posible observar que los modos 1 y 4 no tienen ningún efecto sobre las emisiones de NO_x mientras que los modos 2 y 3 representan una reducción progresiva en las emisiones durante todos los años hasta el 2020.

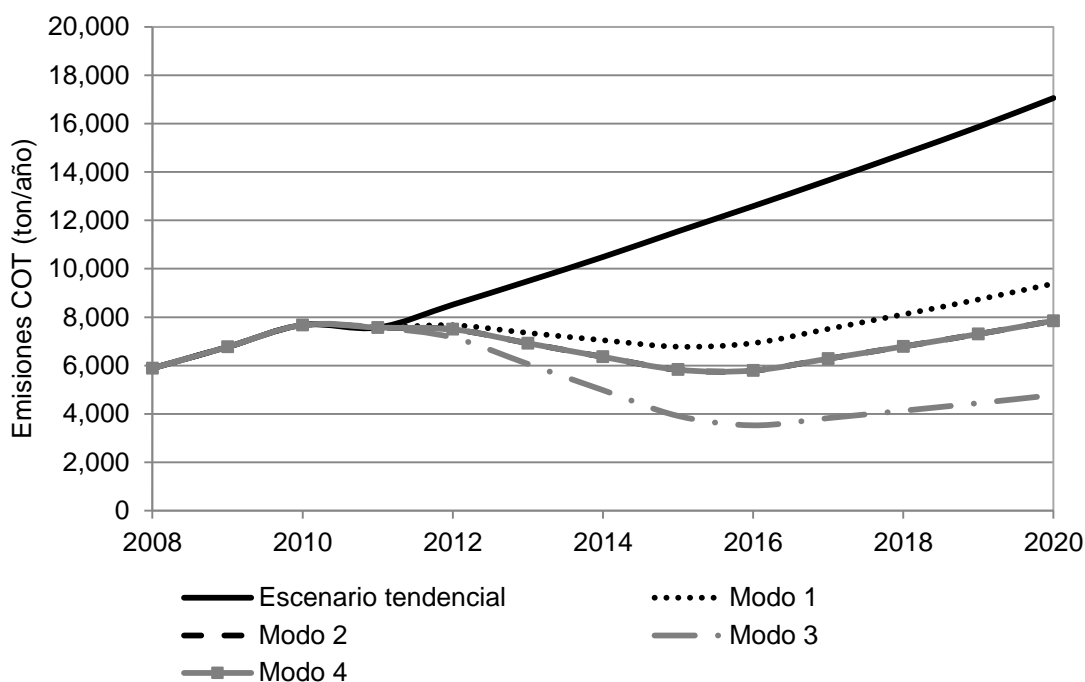


Figura FM4.C. Impacto de la medida en las emisiones de COT de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

En la Figura FM4.C se presenta la evolución de los efectos en las emisiones totales de COT por parte de las motocicletas. Los resultados muestran las diferencias en las eficiencias de los distintos equipos de control de emisión empleados. Las emisiones de COT son un ejemplo del efecto que tiene la instalación de un sistema de inyección secundario de aire ya que los modos 2 y 3 muestran una clara diferencia en los resultados. Para este contaminante el escenario tendencial es creciente. Sin embargo, existe un efecto diferente entre los años 2010 y 2011 debido a que según la normativa nacional saldrían de circulación las motocicletas que usan un motor de dos ciclos. Un comportamiento similar se ve para las emisiones de monóxido de carbono (ver Figura FM4.D).

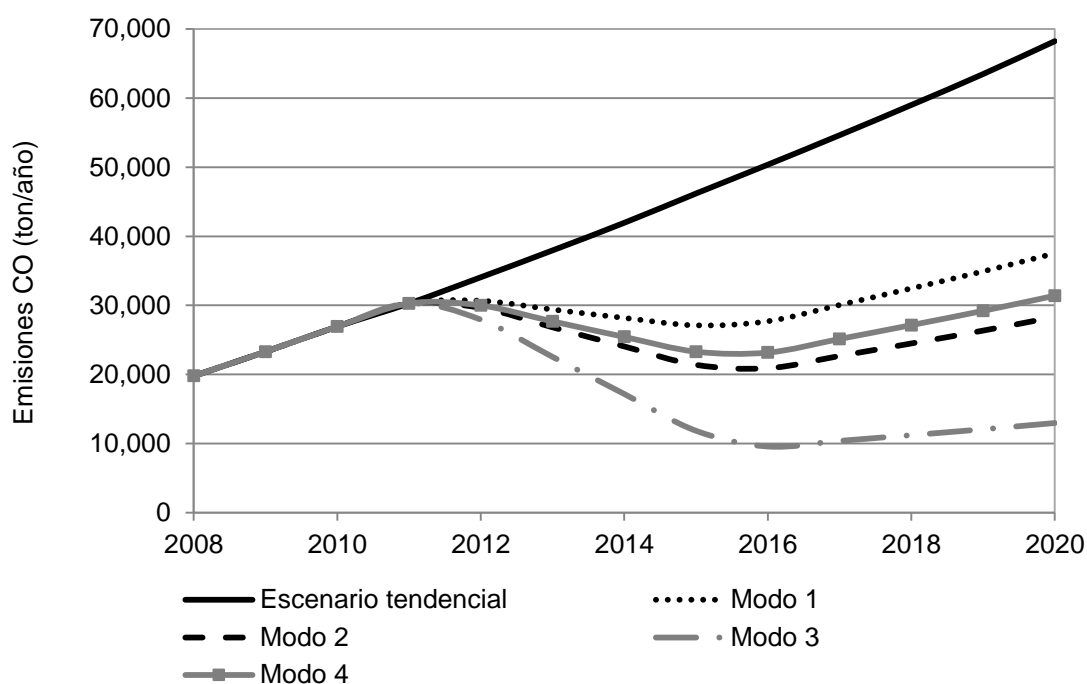


Figura FM4.D. Impacto de la medida en las emisiones de CO de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

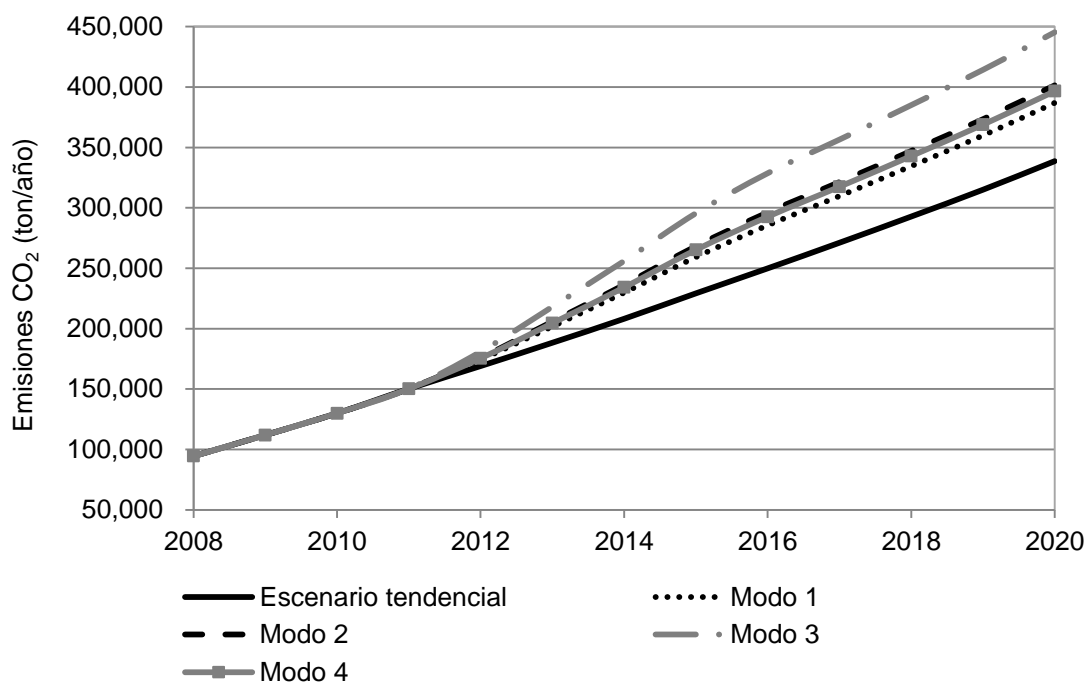


Figura FM4.E. Impacto de la medida en las emisiones de CO₂ de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

En la Figura FM4.E. se presentan los cambios en las emisiones totales de CO₂ cuando se instala alguno de los equipos de control de emisiones propuestos en los diferentes modos de implementación de las medidas. El escenario tendencial muestra una vez más un crecimiento continuo a lo largo del horizonte de estudio relacionado con el aumento en el número de fuentes. Resulta evidente que para todos los sistemas de control evaluados en esta medida, aumentan las emisiones de CO₂. Esto se debe a que al incrementar la eficiencia de oxidación de gases de escape como CO y COT se produce un aumento en la formación de dióxido de carbono.

- h. Impacto sobre la calidad del aire:** En la Tabla FM4.A se presenta el impacto que tendría la aplicación de esta medida en la concentración de PM en el año 2020. Este valor se determinó a partir del cambio que se tendría en el inventario total de PM en la ciudad por la introducción de la medida. Con el fin de presentar los modos de implementación de manera comparativa, se presentan los resultados suponiendo que la medida en todos los casos se empieza a implementar en el año 2012. El porcentaje de reducción de emisiones que se presenta se estimó respecto al inventario total de fuentes móviles en el escenario tendencial.

Tabla FM4.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.

Modo de implementación	Reducción en la emisión de PM año 2020	Reducción en la concentración de PM año 2020
Escenario tendencial	N.A	N.A
Modo 1	17%	7%
Modo 2	22%	9%
Modo 3	22%	9%
Modo 4	20%	8%

i. Beneficios en exposición personal:

- El beneficio en exposición personal de esta medida es alto por las siguientes razones: disminución de la exposición de la población en microambientes relacionados con tráfico vehicular; reducción de la exposición al interior de la cabina de vehículos que transiten cerca de las motocicletas que cuentan con sistemas de control de emisiones; posible reducción en la exposición a ozono asociada con la disminución del potencial de formación de ozono.

j. Impactos sobre otros sectores: En la Tabla FM4.B se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla FM4.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Gastos adicionales para adquirir los sistemas de control de emisiones por parte de los propietarios en caso de que sean éstos quienes deban pagar directamente.	Negativo
	Surgimiento de nuevos mercados asociados a la compra masiva de sistemas de control de emisiones.	Positivo
Social	Incremento de la conciencia ambiental de los usuarios y propietarios de las motocicletas.	Positivo
	Mejora de la calidad de vida de los conductores de las motocicletas por una reducción en la emisión de contaminantes.	Positivo
	Generación de empleo relacionada con la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones.	Positivo
Educación	Capacitación a los empleados de talleres para la instalación y manejo de los convertidores catalíticos.	Positivo
Ambientales	Aumento en las emisiones de CO ₂ debido a la mejora en la eficiencia de oxidación de CO.	Negativo
	Aumento en la generación de residuos sólidos como consecuencia del reemplazo de los sistemas de control de emisiones al final de su vida útil.	Negativo

k. Análisis de costos: En la Tabla FM4.C se presenta el costo total para los modos de implementación evaluados. En la Tabla FM4.D se presenta el costo por tonelada de PM reducida.

Tabla FM4.C. Costo total.

Modo de implementación	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	33,000
Modo 2	242,000
Modo 3	279,000
Modo 4	79,000

Tabla FM4.D. Costo por tonelada de PM reducida.

Modo de implementación	Costo por tonelada de PM (millones de pesos/ton PM)
Modo 1	13
Modo 2	72
Modo 3	83
Modo 4	25

- I. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla FM4.E. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Ambiente	– Liderar el proceso de implementación de la medida.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados. – Buscar apoyo internacional para aprovechar la experiencia de países y entidades expertos en el uso de sistemas de control de emisiones en motocicletas. – Prestar servicios de asesoría técnica y financiera al sector de la industria encargado de la comercialización de los sistemas de control de emisiones. – Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan realizar la implementación de sistemas de control de emisiones si es la administración local la que decide asumir directamente los costos totales o parciales de la medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los propietarios y conductores de las motocicletas. – Realizar actividades de control y seguimiento a la medida. – Liderar programas de capacitación técnica en conjunto con el SENA para los talleres mecánicos para la instalación de los sistemas de control de emisiones. Este debe contar con el apoyo de las casa matrices de las motocicletas.
SENA	– Liderar el proceso de capacitación de operarios en el manejo e instalación de los sistemas de control de emisiones.
Secretaría de Movilidad	– Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

Tabla FM4.F. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Empresas comercializadoras de sistemas de control de emisiones	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso de concertación entre sectores. – Proveer información acerca de los sistemas disponibles en el mercado. – Garantizar que los sistemas de control cumplan con los requisitos técnicos definidos por la autoridad ambiental.
Casas matrices de motocicletas	<ul style="list-style-type: none"> – Dar garantía a los propietarios de motocicletas nuevas sobre los sistemas de control de emisiones que tienen estos vehículos. – Recomendar las mejores opciones tecnológicas acerca de los sistemas de control de emisiones teniendo en cuenta las características específicas de las diferentes motocicletas.

Talleres de mecánica	<ul style="list-style-type: none"> – Capacitarse en la instalación y manejo de los sistemas de control de emisiones. – Realizar los cambios en infraestructura necesarios para la implementación de la medida.
----------------------	--

Tabla FM4.G. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Propietarios y conductores de motocicletas	<ul style="list-style-type: none"> – Participar en las actividades de divulgación de la medida propuestas por la autoridad. – Participar en la implementación de la medida en la manera propuesta por las autoridades. – Exigir información suficiente a las autoridades, casas matrices y comercializadores acerca de las consecuencias en el funcionamiento de las motocicletas por el uso de sistemas de control de emisiones. – Capacitarse acerca del mantenimiento que requieren los sistemas de control de emisiones.

m. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Decreto 35 de 2009, por el cual se toman medidas sobre la circulación de motocicletas, cuatrimotos, mototriciclos, motociclos, ciclomotores y motocarros en el Distrito Capital.
- Plan Maestro de Movilidad adoptado por el Distrito mediante el Decreto 319 del año 2006, propone dentro de sus principios: sostenibilidad, reducción de los impactos ambientales y mayor eficiencia.
- Resolución 910 de 2008, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de los contaminantes que deberían cumplir las fuentes móviles terrestres.
- Ley 1383 de 2010, con la cual se hacen modificaciones al Código Nacional de Tránsito. En esta se establece la obligatoriedad de realizar anualmente la revisión técnico mecánica para las motocicletas.
- Resolución 3500 de 2005, acerca de las condiciones que deben cumplir los centros de diagnóstico automotor, para realizar las revisiones técnico-mecánica y de gases de los vehículos automotores que circulen por el territorio nacional.
- Conpes 3344 de 2005 “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”, promueve las siguientes acciones: diseño de propuestas para incluir medidas de prevención y control de la contaminación del aire en las políticas y regulaciones de competencia del Ministerio de Transporte y el Ministerio de Minas y Energía.
- Ley 769 de 2002, por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito y se dictan otras disposiciones. Se dan condiciones acerca de la revisión Técnico Mecánica (modificado por la Resolución 3500 de 2005).

2. Instrumentos financieros disponibles:

Los gastos relacionados con la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones podrían ser asumidos total o parcialmente por los propietarios de las motocicletas. Se menciona como alternativa los créditos blandos que ofrecen los bancos. Asimismo podrían aplicar para la financiación de esta medida otras alternativas para casos en que se busque financiación para una flota de vehículos.

- Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas otorga cofinanciación para desarrollo tecnológico.

- Fonade es una línea de financiación de proyectos para fortalecimiento empresarial bajo principios de asistencia técnica e innovación tecnológica, esto incluye implementación de proyectos de reconversión industrial e implementación de nuevas tecnologías.
- Línea de Crédito Ambiental, diseñada por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales, es un mecanismo para financiar inversiones que busquen un impacto positivo sobre el medio ambiente así como incrementar el desarrollo sostenible en el país.
- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Decreto 3172 de 2003 para deducción de renta y Decreto 2532 de 2002 para IVA.
- Instrumentos financieros ofrecidos por la Banca Multilateral (Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, Corporación Andina de Fomento, entre otros).

3. Necesidad de creación de instrumentos financieros:

- Se podría evaluar la opción de que el Distrito asuma el costo total o parcial de los costos de la medida.
- Podría evaluarse la opción de reducir los impuestos de importación de los sistemas de control de emisiones.

4. Otros:

- Crear capacidad en las entidades encargadas de dar asesoría técnica y financiera a las empresas y particulares participantes en la medida.
- Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida para los sectores afectados y para la ciudadanía en general.
- Crear programas de educación complementarios acerca de los beneficios (ambientales y financieros) de las buenas prácticas de conducción y de mantenimiento de las motocicletas.

n. Barreras:

- Oposición de los comercializadores por un aumento en el costo de las motocicletas derivado de la instalación de sistemas de control de emisiones.
- Falta de información confiable para los propietarios de los vehículos acerca de los efectos que pueda tener la instalación de sistemas de control de emisiones en el funcionamiento de las motocicletas.
- Oposición de los propietarios de los vehículos si deben asumir el costo de la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones.
- La no existencia de un mercado nacional de sistemas de control de emisiones para motocicletas.
- Dificultad en la implementación y en el control de la medida, teniendo en cuenta las motocicletas que circulan en la ciudad y están matriculadas en otras partes del país.

o. Estrategias de implementación de la medida: Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones que podrían considerarse al momento de definir el esquema de implementación que va a seguirse para desarrollar esta medida. En la Figura FM4.F se presentan mediante un diagrama diferentes opciones de implementación de la medida.

Aspectos técnicos:

1. Identificar de la base de datos de la Secretaría de Movilidad, las motocicletas con motor a cuatro tiempos de tamaño inferior o igual a 250 c.c.
2. Reunir esfuerzos técnicos y administrativos para robustecer la base de datos de motocicletas. De esta forma pueden identificarse a priori las necesidades de inversión para mejorar el desempeño ambiental del parque y hacerle seguimiento a los índices de motorización.

Aspectos financieros:

1. Regular los precios de los sistemas de control de emisiones en el mercado local.
2. Reducir los impuestos de importación de los sistemas de control de emisiones.
3. Creación de un fondo que con recursos del SOAT y de partidas presupuestales provenientes de los impuestos pagados por la industria de las motos, que permita subsidiar la instalación de los sistemas de control.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Crear una norma distrital que obligue a instalar sistemas de control de emisiones en todas las motocicletas con motor a cuatro tiempos de tamaño igual o menor a 250 c.c
2. El Distrito podría crear un programa de adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones asumiendo el costo total de la medida.
3. Diseñar incentivos económicos (exenciones de IVA y reducciones arancelarias, por ejemplo) para el negocio de la venta, distribución y fabricación de este tipo de tecnologías.
4. Promover los instrumentos normativos que permitan la creación del fondo de financiación.

Aspectos educativos y de divulgación:

1. Crear programas de educación y divulgación de la medida, para poder obtener aceptación por parte de los sectores involucrados.
2. Crear programas de capacitación para los usuarios acerca del mantenimiento de los sistemas de control de emisiones.
3. Crear programas de capacitación para los talleres mecánicos con el apoyo de los comercializadores de los sistemas de control de emisiones acerca de los aspectos técnicos de la instalación y el mantenimiento de los mismos.

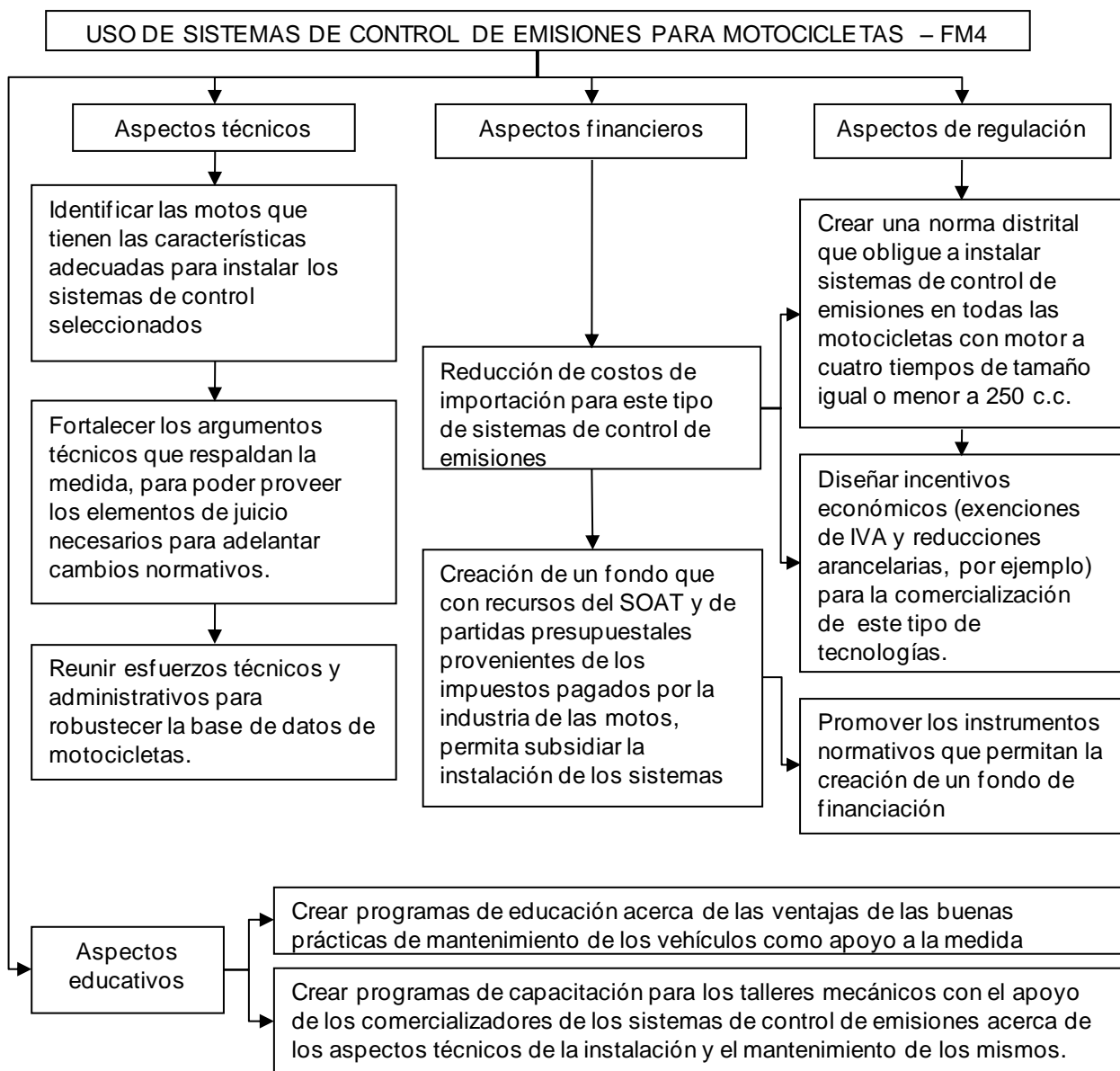


Figura FM4.F. Opciones de implementación de la medida.

6.2.5. *Uso de sistemas de Control de Emisiones en Vehículos de Transporte de Carga – FM5*

- a. Tipo de fuente:** Fuentes móviles.
- b. Categoría:** Transporte de carga.
- c. Descripción:** Según los resultados del inventario de emisiones del año 2008, las emisiones de PM provenientes del sector de transporte de carga representan el 30% de las emisiones de las fuentes móviles, siendo el sector de mayor aporte después del transporte público colectivo. Además, según las proyecciones del escenario tendencial para el año 2020, el aporte de esta categoría podría llegar a ser incluso superior al del sector de transporte público, razón por la cual se considera necesario diseñar medidas de reducción de emisiones para este sector.
- d. Objetivo:** Reducir las emisiones de la flota de camiones de carga mediante la implementación de sistemas de control de emisiones.
- e. Variaciones:** Se propone la implementación de sistemas de control de emisiones en todos los camiones diésel de la flota de carga de la ciudad. Se diseñaron cinco modos de implementación de la medida en los que varía el sistema de control de emisiones, según como se presenta a continuación:
- Modo 1: Instalar catalizadores oxidativos para diésel (DOC) en todos los camiones de Bogotá. Todos los camiones que se registren a partir del año de implementación de la medida deben contar con un sistema de control de emisión que asegure reducciones en los factores de emisión comparables a los de dicho sistema.
 - Modo 2: Instalar filtros de partículas (DPF) en todos los camiones de Bogotá. Todos los camiones que se registren a partir del año de implementación de la medida deben contar con un sistema de control de emisión que asegure reducciones en los factores de emisión comparables a los de dicho sistema.
 - Modo 3: Instalar filtros parciales de partículas (FTF) en todos los camiones de Bogotá. Todos los camiones que se registren a partir del año de implementación de la medida deben contar con un sistema de control de emisión que asegure reducciones en los factores de emisión comparables a los de dicho sistema.
 - Modo 4: Instalar un sistema compuesto por un catalizador de reducción selectiva (SCR) y un catalizador oxidativo para diésel (DOC) en todos los camiones de Bogotá. Todos los camiones que se registren a partir del año de implementación de la medida deben contar con un sistema de control de emisión que asegure reducciones en los factores de emisión comparables a los de dicho sistema.
 - Modo 5: Instalar un sistema compuesto por un catalizador de reducción selectiva (SCR) y un filtro de partículas (DPF) en todos los camiones de Bogotá. Todos los camiones que se registren a partir del año de implementación de la medida deben contar con un sistema de control de emisión que asegure reducciones en los factores de emisión comparables a los de dicho sistema.
- f. Tiempo de implementación:** Para los cinco modos de la medida se propone un tiempo de implementación de 5 años. Una vez cumplido este término, se habrá logrado un cubrimiento total de la flota y la medida continuará siendo aplicada en el futuro en lo que respecta a vehículos que entren a ser parte de la flota y que ya deberán contar con tecnologías equivalentes. Durante cada año de este periodo, dependiendo del modo de implementación se instalarían entre 2,000 y 8,000 sistemas de control de emisiones.

g. Impacto en el inventario de emisiones: En las figuras FM5.A a FM5.D se presenta el efecto de la medida en las emisiones de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial. Con el fin de presentar los modos de manera comparativa se presenta el efecto que se tendría si éstos se implementaran en el año 2012. El efecto de la medida en la emisión de CO₂ es despreciable, la variación en las emisiones con la aplicación de la medida es inferior al 1% respecto al escenario tendencial.

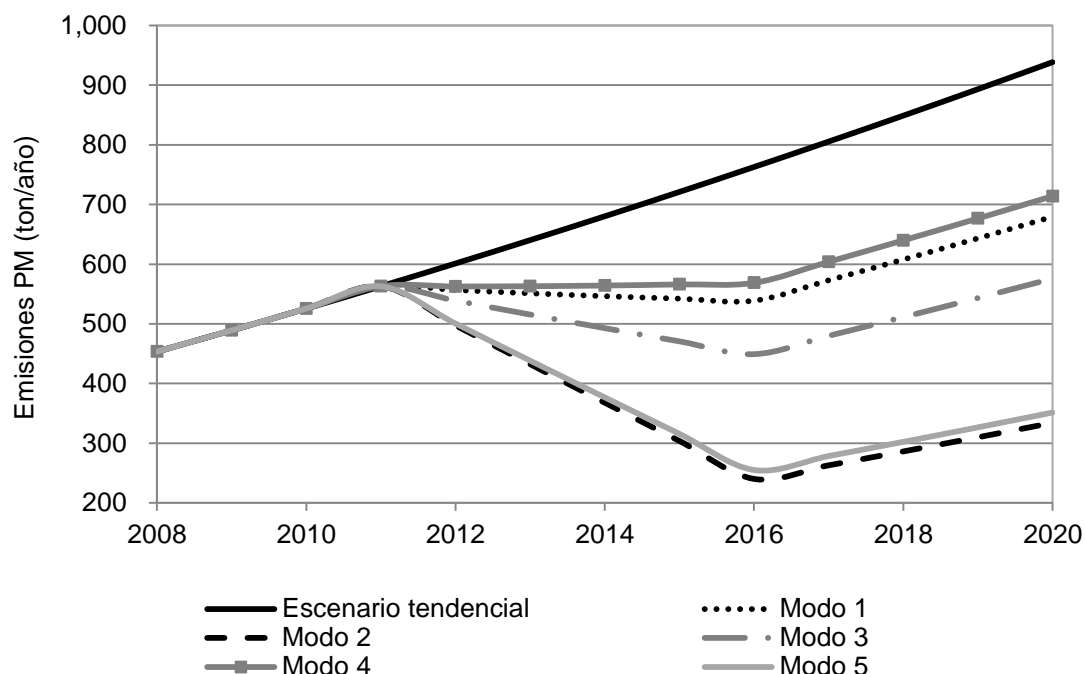


Figura FM5.A. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de PM de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

En la Figura FM5.A se presenta el efecto en las emisiones de PM de la implementación de diferentes sistemas de control de emisiones. El escenario tendencial muestra un crecimiento continuo debido a que no se consideraron variables de mejoramiento de la tecnología con el tiempo. El crecimiento en las emisiones de PM para todos los modos de implementación a partir del año 2016 se debe a un crecimiento natural de la flota pero ajustado al uso del equipo de control de emisión correspondiente. Ese comportamiento es típico para todos los contaminantes y en todos los casos está asociado al mismo efecto.

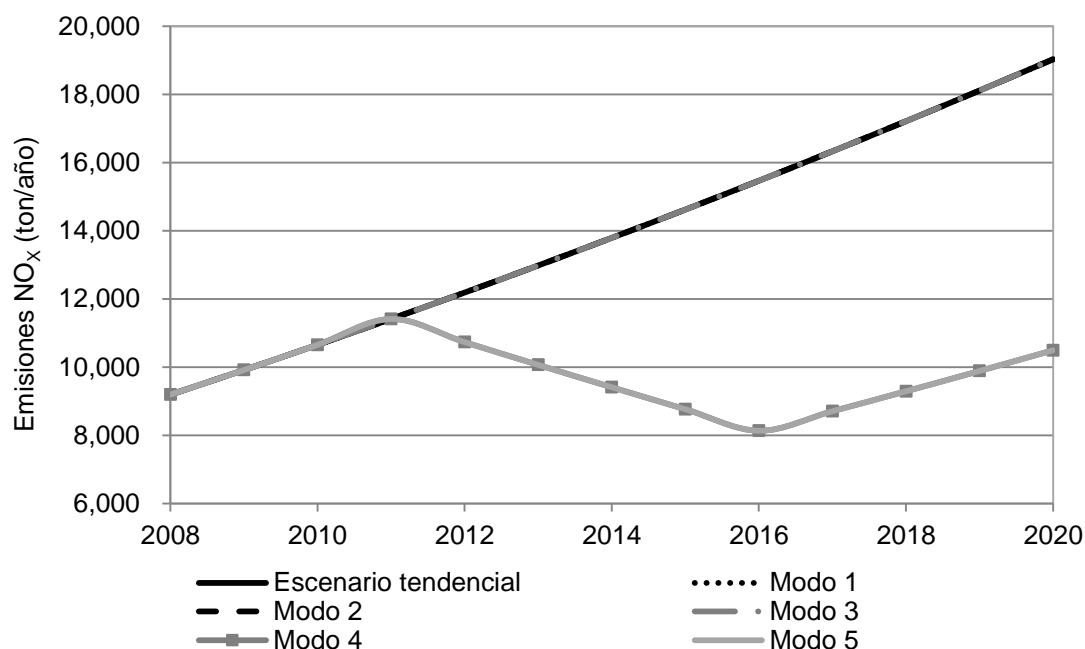


Figura FM5.B. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de NO_x de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

En la Figura FM5.B se puede ver que el comportamiento de los modos 1, 2 y 3 es igual al del escenario tendencial, mientras que para los modos 4 y 5 se ve una reducción importante y de igual magnitud. Esto se debe a que los equipos propuestos para los tres primeros modos se enfocan en la reducción en los factores de emisión de PM de manera exclusiva. Los modos 4 y 5 corresponden a la implementación adicional de un catalizador de reducción selectiva (SCR).

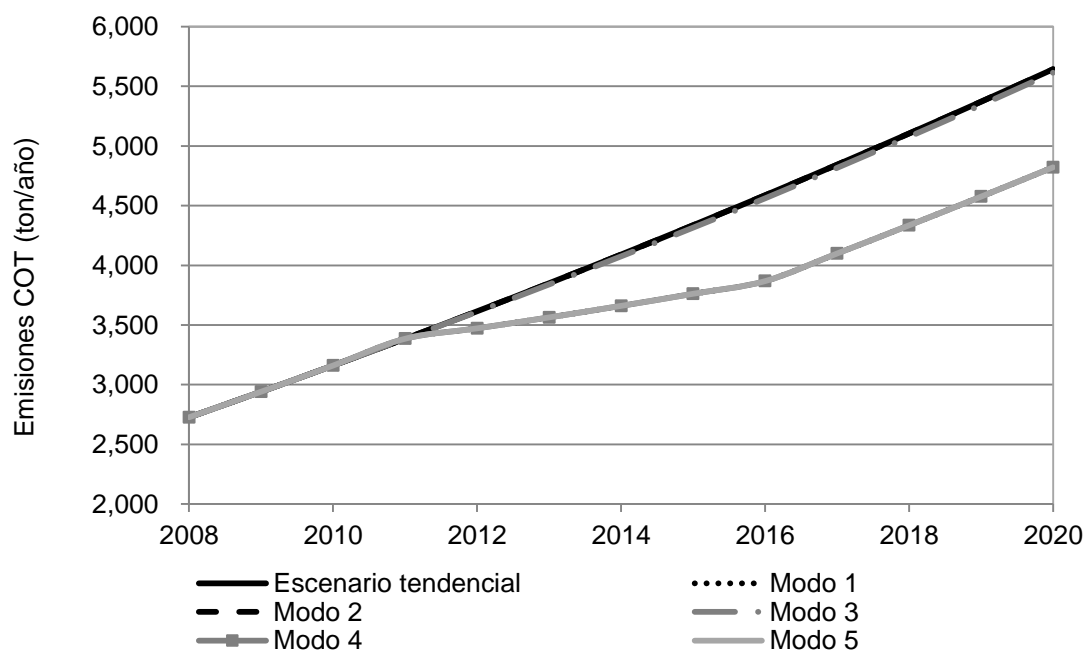


Figura FM5.C. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de COT de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

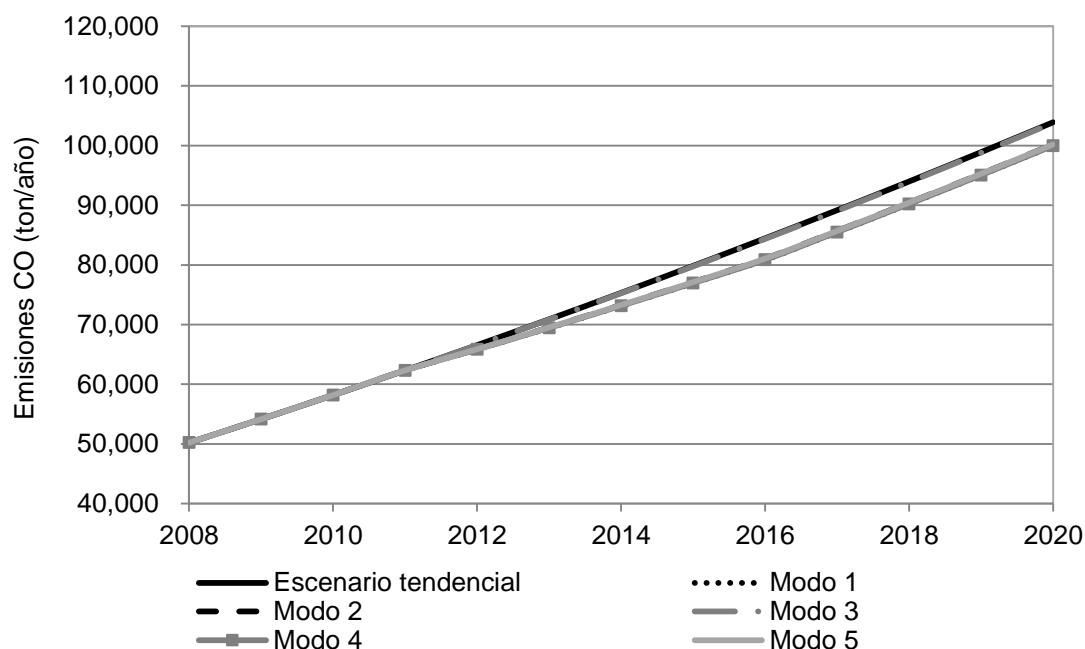


Figura FM5.D. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de CO de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

- h. Impacto sobre la calidad del aire:** En la Tabla FM5.A se presenta el impacto que tendría la aplicación de esta medida en la concentración de PM en toda la ciudad en el año 2020. Este valor se determinó a partir del cambio que se tendría en el inventario total de PM por la introducción de la medida. El porcentaje de reducción de emisiones que se presenta se estimó respecto al inventario total de fuentes móviles en el escenario tendencial.

Tabla FM5.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.

Modo de implementación	Reducción en la emisión de PM año 2020	Reducción en la concentración de PM año 2020
Escenario tendencial	N.A	N.A
Modo 1	10%	4%
Modo 2	23%	9%
Modo 3	14%	6%
Modo 4	8%	3%
Modo 5	22%	9%

i. Beneficios en exposición personal:

- El beneficio en exposición personal de esta medida es alto por las siguientes razones: disminución de la exposición de la población en microambientes relacionados con tráfico vehicular; reducción de la exposición de los conductores de los camiones, esta podría ser significativa teniendo en cuenta el tiempo que pueden llegar a permanecer dentro del vehículo; reducción de la exposición al interior de la cabina de vehículos que transiten cerca de camiones que cuenten con sistemas de control de emisiones.

- j. Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla FM5.B se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla FM5.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la compra de los sistemas de control de emisiones.	Negativo
	Gastos adicionales para adquirir los sistemas de control de emisiones por parte de los propietarios en caso de que sean éstos quienes deban pagar directamente.	Negativo
	Gastos adicionales relacionados con el mantenimiento de los sistemas de control de emisiones.	Negativo
	Surgimiento de nuevos mercados asociados a la compra masiva de sistemas de control de emisiones.	Positivo
Social	Incremento de la conciencia ambiental de los propietarios y conductores de camiones de carga.	Positivo
	Mejora de la calidad de vida de los conductores de los camiones por una reducción en la emisión de contaminantes y por lo tanto una reducción en las emisiones aportadas por el fenómeno de auto-contaminación.	Positivo
	Generación de empleo relacionada con la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones.	Positivo
Educación	Capacitación a los empleados de talleres para la instalación y manejo de los convertidores catalíticos.	Positivo
Ambiental	Generación de residuos sólidos relacionada con la disposición final de los sistemas de control de emisiones al final de su tiempo de vida útil.	Negativo

- k. **Análisis de costos:** En la Tabla FM5.C se presenta el costo total para los cinco modos de implementación evaluados. En la Tabla FM5.D se presenta el costo por tonelada de PM reducida.

Tabla FM5.C. Costo total.

Modo de implementación	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	140,000
Modo 2	2,526,000
Modo 3	729,000
Modo 4	2,021,000
Modo 5	3,368,000

Tabla FM5.D. Costo por tonelada de PM reducida.

Modo de implementación	Costo por tonelada de PM (millones de pesos/ton PM) ⁴
Modo 1	85
Modo 2	655
Modo 3	315
Modo 4	1,400
Modo 5	900

⁴ Estos costos son consistentes con valores reportados en la literatura científica (Schrooten et al., 2006), en donde los costos de reducir una tonelada de PM en fuentes móviles puede encontrarse entre 140 y 6,000 millones de pesos.

- I. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla FM5.E. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Ambiente	– Liderar el proceso de implementación de la medida.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados. – Buscar apoyo internacional para aprovechar la experiencia de países y entidades expertas en el uso de sistemas de control de emisiones en vehículos de carga. – Prestar servicios de asesoría técnica y financiera al sector de la industria encargado de la comercialización de los sistemas de control de emisiones. – Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan realizar la implementación de sistemas de control de emisiones si es la administración local la que decide asumir directamente los costos totales o parciales de la medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los propietarios y conductores de los camiones. – Realizar actividades de control y seguimiento a la medida. – Liderar programas de capacitación técnica en conjunto con el SENA para los talleres mecánicos para la instalación y mantenimiento de los sistemas de control de emisiones. Este debe contar con el apoyo de las casas matrices de los camiones.
SENA	– Liderar el proceso de capacitación de operarios en el manejo e instalación de los sistemas de control de emisiones.
Secretaría de Movilidad	– Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

Tabla FM5.F. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Propietarios y conductores de camiones	<ul style="list-style-type: none"> – Participar en las actividades de divulgación de la medida propuestas por la autoridad. – Participar en la implementación de la medida en la manera propuesta por las autoridades. – Exigir información suficiente a las autoridades, casas matrices y comercializadores acerca de las consecuencias en el funcionamiento de los camiones por el uso de sistemas de control de emisiones.

Tabla FM5.G. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Empresas comercializadoras de sistemas de control de emisiones	– Apoyar el proceso de concertación entre sectores.
Casas matrices de vehículos de carga	– Dar garantía a los propietarios de camiones nuevos sobre los sistemas de control de emisiones que tienen estos vehículos. – Recomendar las mejores opciones tecnológicas acerca de los sistemas de control de emisiones teniendo en cuenta las características específicas de operación de los diferentes tipos de camiones.
Talleres de mecánica	– Capacitarse en la instalación y manejo de los sistemas de control de emisiones. – Realizar los cambios en infraestructura necesarios para la implementación de la medida.
Empresas propietarias de vehículos de carga	– Participar en las actividades de divulgación de la medida propuestas por la autoridad. – Participar en la implementación de la medida en la manera propuesta por las autoridades. – Exigir información suficiente a las autoridades, casas matrices y comercializadores acerca de las consecuencias en el funcionamiento de los camiones por el uso de sistemas de control de emisiones.

m. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:**1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:**

- Plan Maestro de Movilidad adoptado por el Distrito mediante el Decreto 319 del año 2006, propone dentro de sus principios: sostenibilidad, reducción de los impactos ambientales y mayor eficiencia.
- Conpes 3344 de 2005 “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”, promueve las siguientes acciones: diseño de propuestas para incluir medidas de prevención y control de la contaminación del aire en las políticas y regulaciones de competencia del Ministerio de Transporte y el Ministerio de Minas y Energía.
- Resolución 910 de 2008, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de los contaminantes que deberían cumplir las fuentes móviles terrestres.
- Resolución 3500 de 2005, acerca de las condiciones que deben cumplir los centros de diagnóstico automotor, para realizar las revisiones técnico-mecánica y de gases de los vehículos automotores que circulan por el territorio nacional.
- Ley 769 de 2002, por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito y se dictan otras disposiciones. Se dan condiciones acerca de la revisión Técnico Mecánica (modificado por la Resolución 3500 de 2005).
- Ley 1383 de 2010, con la cual se hacen modificaciones al Código Nacional de Tránsito.

2. Instrumentos financieros disponibles:

Los gastos relacionados con la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones podrían ser asumidos total o parcialmente por los propietarios de los camiones. Se mencionan algunas alternativas de créditos blandos que podrían facilitar el pago de dichos sistemas. Asimismo podrían aplicar otras alternativas para la financiación de esta medida para los casos en que se busque financiación para una flota de vehículos.

- Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas, el cual otorga cofinanciación para desarrollo tecnológico.

- Fonade es una línea de financiación de proyectos para fortalecimiento empresarial bajo principios de asistencia técnica e innovación tecnológica, esto incluye implementación de proyectos de reconversión industrial e implementación de nuevas tecnologías.
- Línea de Crédito Ambiental diseñado por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales, es un mecanismo para financiar inversiones que busquen un impacto positivo sobre el medio ambiente así como incrementar el desarrollo sostenible en el país.
- Instrumentos financieros ofrecidos por la Banca Multilateral (Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, Corporación Andina de Fomento, entre otros).
- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Decreto 3172 de 2003 para deducción de renta y Decreto 2532 de 2002 para IVA.

3. Otros:

- Crear capacidad en las entidades encargadas de dar asesoría técnica y financiera a las empresas participantes en la medida.
- Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida para los sectores afectados y para la ciudadanía en general.
- Crear programas de educación acerca de los beneficios (ambientales, financieros) derivados de las buenas prácticas de mantenimiento de los camiones.

n. Barreras:

- Falta de información confiable para los propietarios de los vehículos acerca de los efectos que pueda tener la instalación de sistemas de control de emisiones en el funcionamiento de los vehículos.
- Oposición de los propietarios de los vehículos si deben asumir el costo de la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones.
- La no existencia de un mercado nacional de sistemas de control de emisiones para vehículos de carga.
- El control de la medida, teniendo en cuenta los vehículos de carga que circulan por la ciudad y no están matriculados en la misma.

o. Estrategias de implementación de la medida: Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones que podrían considerarse al momento de definir el esquema de implementación que va a seguirse para desarrollar esta medida. En la Figura FM5.E mediante un diagrama lógico se presentan diferentes opciones de implementación de la medida.

Aspectos técnicos:

1. Identificar de la base de datos de la Secretaría de Movilidad, el número de camiones que se acogerían a la medida, si únicamente se aplicaría a los vehículos de carga matriculados en la ciudad.

Aspectos financieros:

1. Regular los precios de los sistemas de control de emisiones en el mercado local.
2. Reducir los impuestos de importación de los sistemas de control de emisiones.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Crear una norma distrital que obligue a instalar sistemas de control de emisiones en los camiones matriculados en la ciudad.
2. El Distrito podría crear un programa de adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones asumiendo el costo total de la medida.
3. Definir la jurisdicción de la regulación en torno a las emisiones de los vehículos de transporte de carga, teniendo en cuenta aquellos vehículos que traen carga a Bogotá desde otros lugares del país.

Aspectos educativos y de divulgación:

1. Crear programas de educación y divulgación de la medida, para poder obtener aceptación por parte de los sectores involucrados.
2. Crear programas de capacitación para los usuarios acerca del mantenimiento de los sistemas de control de emisiones.
3. Crear programas de capacitación para los talleres mecánicos con el apoyo de los comercializadores de los sistemas de control de emisiones acerca de los aspectos técnicos de la instalación y el mantenimiento de los mismos.
4. Buscar acercamientos con el gremio transportador para que integre estrategias de mejoramiento del desempeño ambiental de su flota en sus esquemas de gestión.

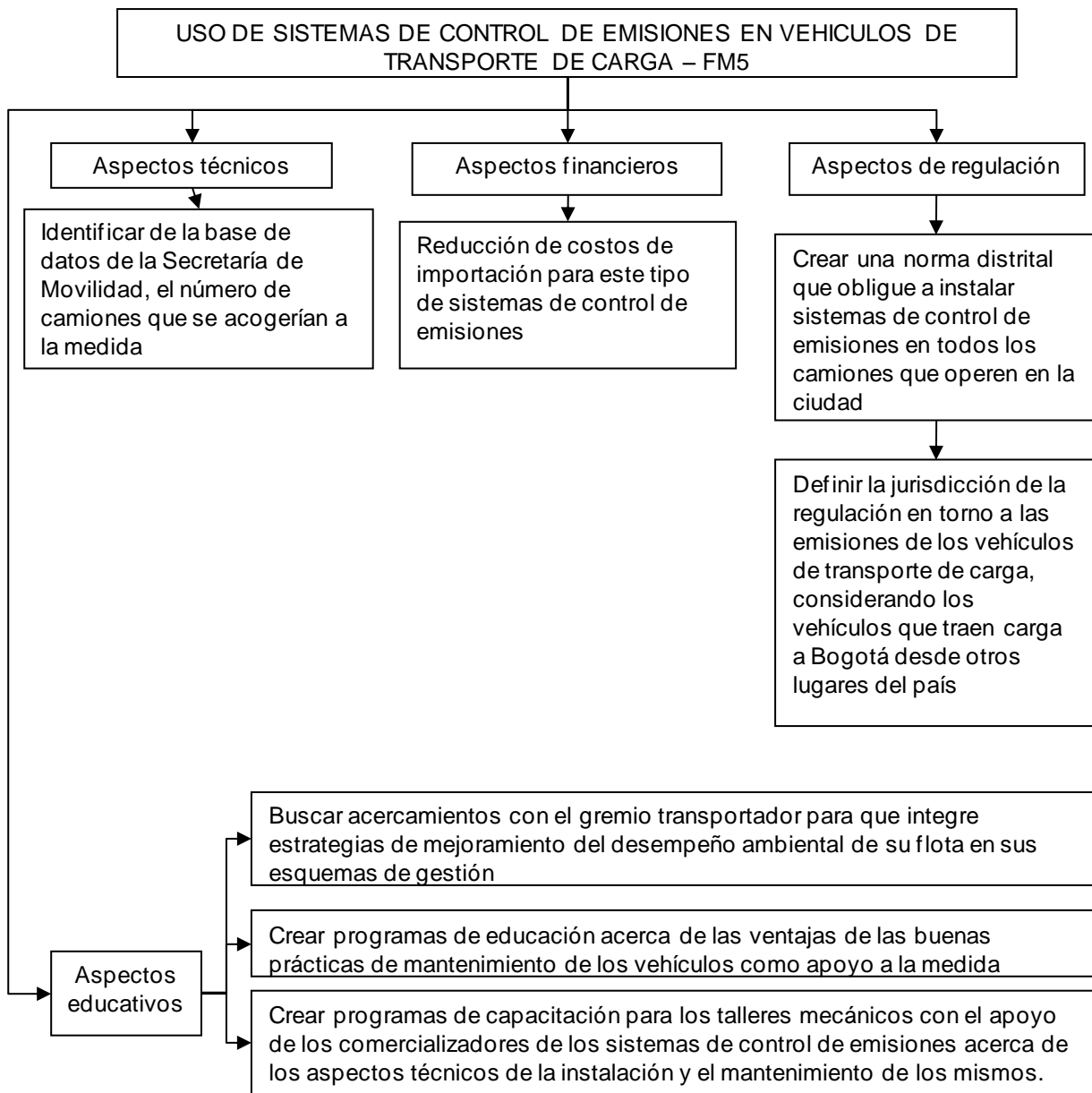


Figura FM5.E. Opciones de implementación de la medida.

6.2.6. Implementación del Sistema Integrado de Transporte Público – FM6

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes móviles.
- b. **Categoría:** Transporte público.
- c. **Descripción:** Una de las políticas bandera de la administración distrital es la implementación del sistema integrado de transporte público (SITP), para el cual se debe garantizar su consolidación de tal forma que se logren las repercusiones positivas en la calidad del aire. Para este caso se analizaron dos escenarios en relación con el SITP. A continuación se explican las razones que llevaron a dichos diseños:

Según la Contraloría de Bogotá (2007) la sobreoferta de transporte público colectivo en la ciudad es cercana a los 8,000 vehículos (un 42% del total de la flota). Aunque se han tomado medidas para disminuir la sobreoferta, en particular las derivadas del Decreto 115 del 2003, la chatarrización de vehículos no ha sido completamente efectiva. Al respecto, la Contraloría de Bogotá estima que en el periodo 2000–2007 se chatarrizaron 8,829 vehículos, pero tan solo 24 de ellos contribuyeron a la disminución de la sobreoferta efectivamente, ya que 3,247 vehículos se acogieron a la figura de reposición y 5,559 fueron comprados para permitir la vinculación de nuevos vehículos al Sistema Transmilenio, hechos que no permitieron incidir directamente en la disminución de la sobreoferta. Además, los planes vigentes de ajuste de la capacidad transportadora de las empresas, contemplan una reducción de 1,597 vehículos, esto es solo el 17% de la sobreoferta estimada en la ciudad.

Sin embargo, con la implantación del SITP se espera generar un impacto considerable en términos de disminución del parque de transporte público. El rediseño de rutas y la integración con Transmilenio, y posteriormente con el metro, apunta a un parque cercano a los 13,000 vehículos, generando un sistema más eficiente, rentable y ambientalmente adecuado.

A pesar de que la gestión sobre el número de fuentes de emisión tiene repercusiones directas sobre la calidad del aire, el envejecimiento paulatino del parque automotor podría limitar el beneficio ambiental obtenido en un principio. Además de los beneficios derivados de un vehículo nuevo por un menor desgaste, los modelos más recientes tienen también innovaciones técnico-mecánicas derivadas del desarrollo de la industria automotriz, que hacen más eficientes los vehículos al mismo tiempo que menos contaminantes.

Como respuesta a la situación descrita anteriormente se analizaron dos modos para la implementación del SITP: 1) Que la meta de chatarrización se aplique a los vehículos más antiguos de la flota y 2) Que el SITP cuente con un programa de renovación continuo de tal manera que al final del periodo de implementación la flota tenga una edad promedio inferior a la que tiene hoy (13 años en promedio). Este último modo hace referencia al diseño original del SITP, según lo especificado en los pliegos de la licitación del mismo.

NOTA: La modelación del SITP en el diseño del plan de descontaminación se realizó con base en los pliegos de licitación publicados en el segundo semestre del año 2009 en la página Web de contratación del Distrito. Dicha información fue complementada con otras fuentes (v.g., variables relacionadas con la eficiencia del sistema, variables de desempeño ambiental) tal y como se describe en la Parte B del PDDB. Es importante resaltar que los términos finales del contrato pueden diferir en alguna medida del contenido de estos documentos ya que a la fecha de generación del presente reporte, éstos aun eran objeto de discusión y de eventuales modificaciones en temas relacionados con el desempeño ambiental y los tiempos y gradualidad de la implementación del sistema.

NOTA II. La Gerencia del SITP hizo entrega de información adicional y actualizada en tiempo real, tal como los cambios en el tamaño total de la flota y su distribución en diferentes categorías vehiculares, con el fin de acercar de la mejor forma posible el proceso de modelación y sus supuestos con la versión final de los contratos del SITP. De igual manera, es pertinente resaltar que los supuestos usados por la Universidad durante la modelación son de carácter conservador. Esto significa que de presentarse desviaciones significativas entre dichos supuestos y la implementación real del sistema, tales desviaciones estarían asociadas con beneficios ambientales aún más importantes que los documentados en este trabajo.

- d. Objetivo:** Implementar el sistema integrado de transporte público con los consecuentes beneficios ambientales.
- e. Variaciones:** Se proponen dos modos para la implementación del sistema integrado de transporte público, los cuales son complementarios y consistentes con los requerimientos técnicos establecidos por el Distrito para el diseño del sistema. Estos modos se evaluaron sobre los cambios que propone el SITP.
 - Modo 1: Reducir la sobreoferta mediante la redistribución modal de los viajes en transporte público. En este modo la renovación de la flota obedece a los reajustes del parque automotor según los requerimientos del nuevo sistema, considerando que los vehículos chatarrizados corresponden a los vehículos más antiguos de la flota.
 - Modo 2: En este modo se valoran las implicaciones de mantener la edad promedio de la flota de transporte público en valores inferiores a los 10 años, lo que implica la renovación continua de la flota. Específicamente, se propone tener para el año 2020 un parque automotor con una edad promedio de 7 años (casi la mitad de lo que tiene hoy).
- f. Tiempo de implementación:** Las mejoras ambientales que se proponen con los modos 1 y 2 se realizan gradualmente con la implementación del SITP entre los años 2011 y 2020.
 - Modo 1: El proceso de chatarrización se desarrolla según los planes establecidos por el SITP. Este proyecto contempla el retiro paulatino del 34.5% de la flota actual de TPC (5,580 vehículos aproximadamente).
 - Modo 2: El programa de renovación continua implica la adquisición anual de cerca de 400 vehículos nuevos.
- g. Impacto en el inventario de emisiones:** En la Figura FM6.A se presenta el impacto de la medida en las emisiones de PM provenientes del sector de transporte público (incluido Transmilenio) en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.

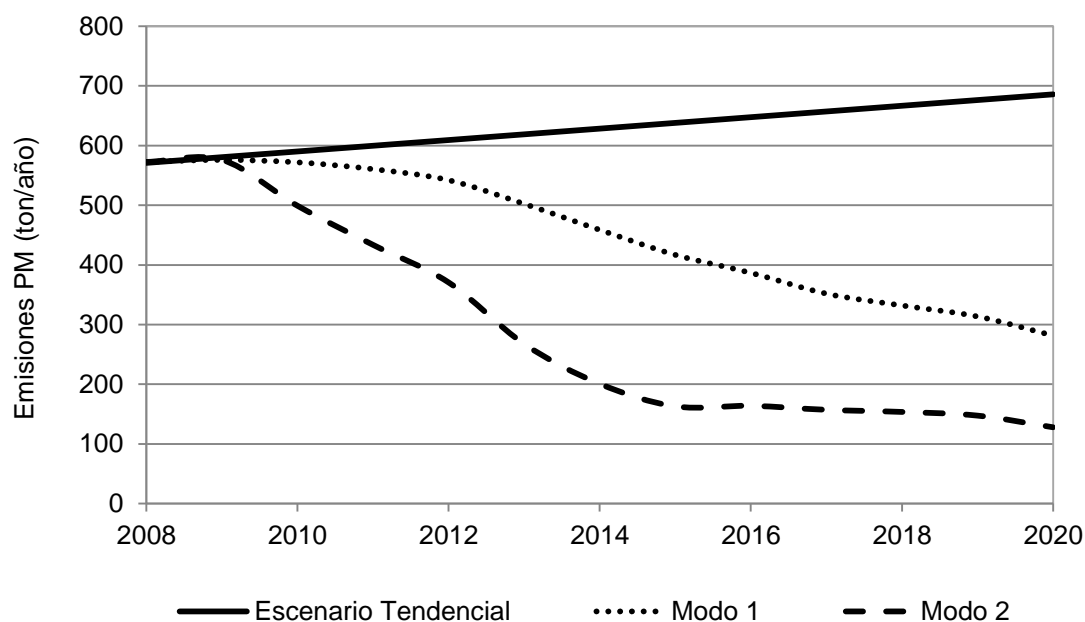


Figura FM6.A. Efecto de la implementación del SITP en las emisiones de PM del sector de transporte público en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial (en donde no se incluye al SITP).

El crecimiento de las emisiones en el escenario tendencial se debe al aumento en el número de viajes totales y, por ende, en el número de fuentes (bajo el supuesto de que el indicador de eficiencia IPK, se mantiene constante en el lapso estudiado). Por su parte, la disminución de las emisiones derivadas de la implementación de esta medida en sus modos 1 y 2 tiene dos causas principales: 1) El retiro paulatino de las fuentes en concordancia con el diseño operativo del SITP, y 2) por el mejoramiento de los factores de emisión debido a la incorporación a la flota de vehículos más modernos.

La brecha entre los modos 1 y 2 se debe principalmente a que en el Modo 2, el cambio en los factores de emisión es más acelerado debido a un programa de renovación continua de la flota, mientras que en el Modo 1 solo serían retirados los vehículos más viejos del parque, sin que esto repercuta sobre la modernización de los vehículos remanentes.

- h. Impacto sobre la calidad del aire:** En la Tabla FM6.A se presenta el impacto que tendría la aplicación de esta medida en la concentración de PM en la ciudad en el año 2020. Este valor se determinó a partir del cambio que se tendría en el inventario total de PM en la ciudad por la introducción de la medida. El porcentaje de reducción de emisiones que se presenta se estimó respecto al inventario total de fuentes móviles en el escenario tendencial.

Tabla FM6.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.

Modo de implementación	Reducción en la emisión de PM año 2020	Reducción en la concentración de PM año 2020
Escenario tendencial	N.A	N.A
Modo 1	15%	6%
Modo 2	21%	8%

i. Beneficios en exposición personal:

- El beneficio en exposición personal de esta medida es alto por las siguientes razones: tendría efecto sobre diferentes vías de la ciudad; disminución de la exposición de la población en microambientes relacionados con tráfico vehicular; reducción de la exposición al interior de la cabina de los vehículos al sacar de circulación a los vehículos más antiguos; disminución de la exposición personal en vías habitualmente saturadas por la sobreoferta de vehículos; disminución del tiempo de permanencia en la cabina de los vehículos debido al aumento de la velocidad media del parque derivada de una reducción en el número de vehículos.
- j. Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla FM6.B se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla FM6.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la compra de los vehículos nuevos y para la chatarrización, lo que podría verse reflejado en mayores tarifas para los usuarios.	Negativo
	Disminución en los costos de operación y mantenimiento, derivados de la utilización de vehículos más eficientes (renovación de la flota) y de la disminución en el tamaño de la flota (chatarrización).	Positivo
Social	Incremento de la conciencia ambiental de los usuarios y propietarios de los vehículos del sistema de transporte público.	Positivo
	Mejora en la calidad del servicio de transporte público.	Positivo
	Aumento en la seguridad de los usuarios y conductores del servicio público.	Positivo
	Reducción en los tiempos de viaje.	Positivo
	Generación de desempleo para los conductores de buses obsoletos objeto de la chatarrización.	Negativo
	Afectación de trabajadores informales que dependen de los buses y buseta para adelantar sus actividades (vendedores en las cabinas).	Negativo
Ambientales	Generación de residuos tras la chatarrización de vehículos obsoletos.	Negativo

- k. Análisis de costos:** En la Tabla FM6.C se presenta el costo total para los dos modos de implementación evaluados. Estos costos están asociados a la adquisición de nuevos vehículos y a la compra de los vehículos que sean objeto del esquema de chatarrización analizado. En la Tabla FM6.D se presenta el costo por tonelada de PM reducida.

Tabla FM6.C. Costo total.

Modo de implementación	Costo total (millones de pesos)
Modo 1	223,000
Modo 2	1,260,000

Tabla FM6.D. Costo por tonelada de PM reducida.

Modo de implementación	Costo por tonelada de PM (millones de pesos/ton PM)
Modo 1	101
Modo 2	311

- I. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla FM6.E. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Ambiente	– Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	– Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan la renovación continua de la flota y la chatarrización de vehículos obsoletos.
Secretaría Distrital de Ambiente	– Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los propietarios y conductores de los vehículos del servicio público – Realizar actividades de control y seguimiento a la medida. – Liderar programas de capacitación técnica en conjunto con el SENA acerca de las ventajas del buen mantenimiento de la flota como apoyo a la implementación de la medida. Puede contar con el apoyo de las casas matrices de los vehículos.
SENA	– Liderar el proceso de capacitación para conductores, mecánicos y propietarios de los buses acerca del mantenimiento de la flota y buenas prácticas de conducción.
Secretaría de Movilidad	– Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.
Transmilenio S.A.	– Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida, como entidad encargada de la gestión del SITP.

Tabla FM6.F. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Gremio del sector transportadore (Conaltur, Asotur, Apetrans, Acotrans, Asotranscol); Transmilenio; empresas propietarias de vehículos	– Participar en las diferentes etapas de concertación de la medida. – Participar en las actividades de divulgación de la medida propuestas por la autoridad. Participar en la implementación de la medida en la manera propuesta por las autoridades.

Tabla FM6.G. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	– Exigir a las autoridades y al Distrito el cumplimiento de estándares ambientales en los sistemas de transporte público.

m. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Plan Maestro de Movilidad adoptado por el Distrito mediante el Decreto 319 del año 2006, propone dentro de los principios: sostenibilidad, reducción de los impactos ambientales y mayor eficiencia.
- Decreto 309 de 2009 en el cual se define la estructura y principales componentes del SITP.
- Resolución 910 de 2008, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de los contaminantes que deberían cumplir las fuentes móviles terrestres.
- Conpes 3344 de 2005 “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”, promueve las siguientes acciones: diseño de propuestas para incluir medidas de prevención y control de la contaminación del aire en las políticas y regulaciones de competencia del Ministerio de Transporte y el Ministerio de Minas y Energía.
- Ley 769 de 2002, por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito y se dictan otras disposiciones.
- Resolución 514 de 2003, “por medio de la cual se definen los requisitos para la compra y posterior desintegración de los vehículos de transporte público colectivo por parte del Fondo para el Mejoramiento de la Calidad del Servicio”.
- Decreto 115 de 2003, establece que las empresas de transporte público deberán acreditar el cumplimiento del índice de reducción de sobreoferta para el mejoramiento de la calidad del servicio.
- Política nacional de calidad del aire (MAVDT, 2008) prevé la necesidad de “continuar con la ejecución de planes a nivel nacional para la renovación del parque automotor y de los programas de desintegración que se han adelantado hasta el momento”.
- Política nacional de calidad del aire (MAVDT, 2008) prevé la necesidad de “coordinar con las autoridades territoriales de los grandes centros urbanos la planeación y ejecución de los planes integrales de movilidad y de los sistemas integrales de transporte masivo”.
- El Decreto 948 de 1995, establece en su Artículo 39 acerca de la obsolescencia del parque automotor “el Ministerio del Medio Ambiente, previa consulta con el Ministerio de Transporte, o los municipios o distritos, podrán establecer restricciones a la circulación de automotores por razón de su antigüedad u obsolescencia, cuando sea necesario para disminuir los niveles de contaminación en zonas urbanas”.

2. Necesidad de cambios regulatorios:

- Se identificó la necesidad de revisar los esquemas de tarifas relacionadas con los costos de chatarrización que se han utilizado en el país. El valor de adquisición de los vehículos para chatarrizar es superior al utilizado en otros países.
- Asimismo se identificó la necesidad de revisar la Ley 769 de 2002, en lo relacionado con el marco de sanciones para conductores del sistema de transporte público.

3. Instrumentos financieros disponibles: A continuación se mencionan algunas alternativas que podrían apoyar la financiación de la medida:

- Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas, otorga cofinanciación para desarrollo tecnológico.
- Fonade es una línea de financiación de proyectos para fortalecimiento empresarial bajo principios de asistencia técnica e innovación tecnológica, esto incluye implementación de proyectos de reconversión industrial e implementación de nuevas tecnologías.
- Línea de Crédito Ambiental diseñada por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales, es un mecanismo para financiar inversiones que busquen un impacto positivo sobre el medio ambiente así como incrementar el desarrollo sostenible en el país.

- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Decreto 3172 de 2003 para deducción de renta y Decreto 2532 de 2002 para IVA.

4. Necesidad de creación de instrumentos financieros:

- Se podría evaluar la opción de crear un fondo para cubrir el costo de la chatarrización de los vehículos, similar al fondo para el mejoramiento de la calidad del servicio, creado mediante Decreto 115 de 2003 para la chatarrización de los buses de transporte público colectivo.

5. Otros:

- Crear capacidad en las entidades encargadas de dar asesoría técnica y financiera a las empresas participantes en la medida.
- Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida para los sectores afectados y para la ciudadanía en general.
- Crear programas de educación para los propietarios y conductores de los vehículos acerca de los beneficios derivados de las buenas prácticas de mantenimiento.
- Crear programa de divulgación de la medida para los usuarios del sistema de transporte público.

n. Barreras:

- Presencia de operadores ilegales podría dificultar la implementación de la medida.
- Afectación del modelo financiero del SITP aumentando los costos del mismo y por ende generando una mayor tarifa técnica a ser cubierta por el usuario.

o. Estrategias de implementación de la medida: Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones que podrían considerarse al momento de definir el esquema de implementación que va a seguirse para desarrollar esta medida. En la Figura FM6.B se presentan mediante un diagrama lógico diferentes opciones de implementación de la medida.

Aspectos técnicos:

1. Definir el año modelo de los vehículos a partir del cual se aplicará la medida de chatarrización.
2. Definir el tiempo de vida útil para los vehículos que conforman la flota de transporte público con el cual se regirá el programa de renovación continua.
3. Identificar de la base de datos de la Secretaría de Movilidad los vehículos que deben ser chatarrizados cada año.
4. Diseñar un sistema de medición de la eficiencia de las rutas de transporte público colectivo para poder evaluar permanentemente la sobreoferta en la ciudad.

Aspectos financieros:

1. El Distrito podría asumir una proporción del costo de la adquisición de los nuevos vehículos.
2. El Distrito podría asumir una proporción del costo de la adquisición de los vehículos antiguos que deban salir de circulación.
3. Fortalecer los mecanismos de recaudo del fondo para el mejoramiento de la calidad del transporte, aprovechando los nuevos esquemas de recaudo de las tarifas del servicio propuestas en el marco del SITP.

4. Usar los recursos del fondo para la compra de vehículos chatarrizables y para subsidiar parcialmente la adquisición de vehículos nuevos en los casos en que hubiere lugar.
5. Se podría evaluar la opción, con el Ministerio de Hacienda de reducir los costos de importación de los vehículos para la flota de transporte público.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Crear un programa distrital para sacar de circulación los vehículos más antiguos de la flota.
2. Establecer penalizaciones para los operadores del servicio que no cumplan con criterios de eficiencia del servicio (por ejemplo, con una meta en el IPK) para evitar la sobreoferta en la ciudad.
3. Capacitar a los empresarios para que valoren la calidad de la prestación del servicio como un atributo que contribuye a mejorar su imagen frente a los usuarios.

Aspectos educativos:

1. Iniciar programas de concientización y divulgación de la medida, con el fin de obtener aceptación por parte del sector afectado.
2. Crear programas de educación acerca de las ventajas de las buenas prácticas de mantenimiento de los vehículos como apoyo a la medida.

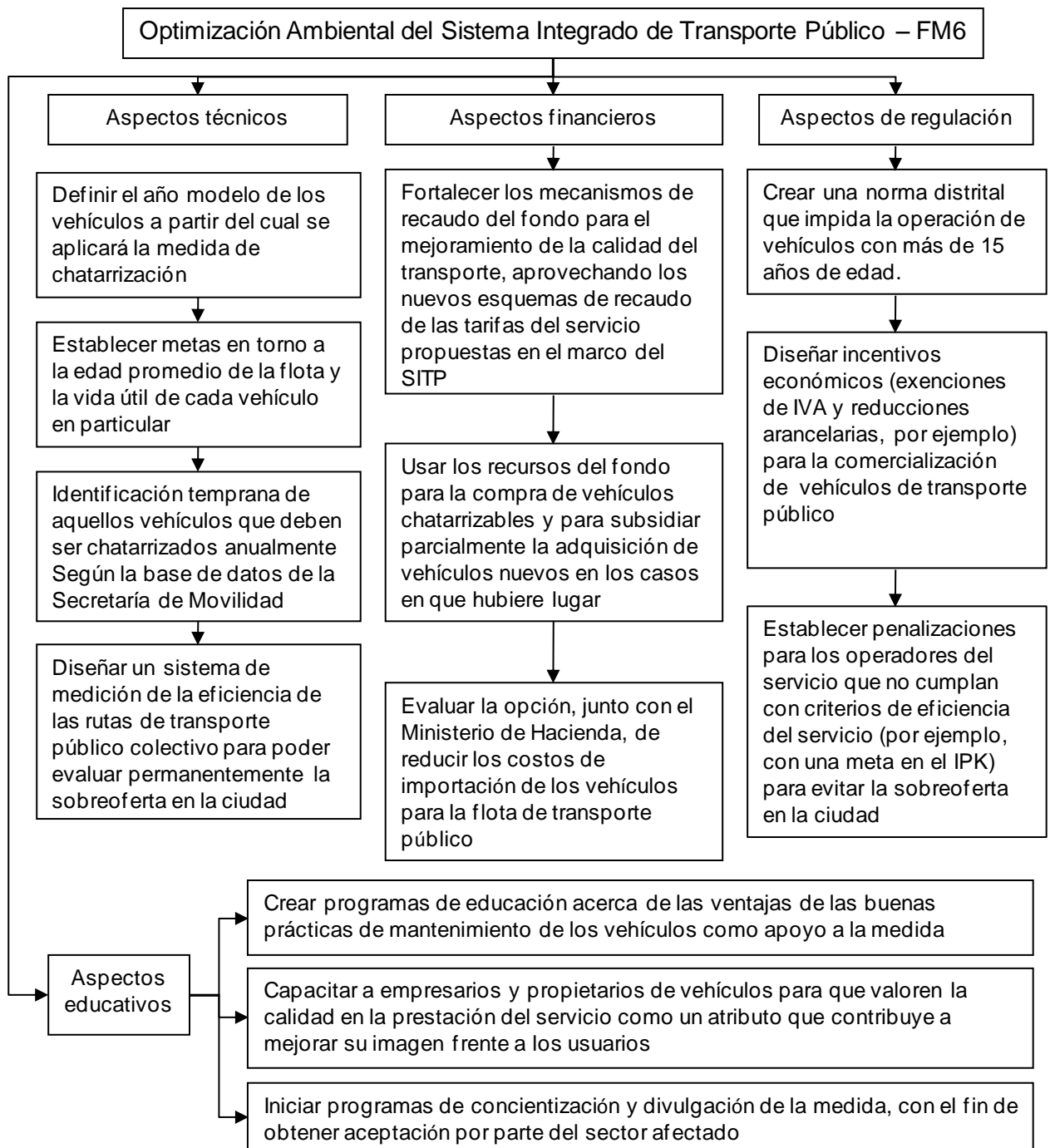


Figura FM6.B. Opciones de implementación de la medida.

6.2.7. *Uso de Sistemas de Control de Emisiones en TPC y Flota Alimentadora del SITP – FM7*

- a. Tipo de fuente:** Fuentes móviles.
- b. Categoría:** Transporte público colectivo.
- c. Descripción:** La flota de transporte público se caracteriza por su alto aporte a las emisiones de PM y NO_x. Según el inventario de emisiones de fuentes móviles, para el 2008 este sector aportaba cerca del 40% de las emisiones de PM y más del 20% de las emisiones de NO_x. Por esta razón, se analizó el impacto de instalar diferentes sistemas de control de emisiones en la flota de transporte público.
- Para el caso particular de los vehículos diésel existe un abanico amplio de opciones en cuanto a sistemas de control de emisiones para estos dos contaminantes (PM y NO_x). Sin embargo, aún existen impedimentos técnicos para lograr reducciones superiores al 80% simultáneamente, empleando una única tecnología. Por esta razón, el análisis del contexto de la calidad del aire en Bogotá, es indispensable para elegir la tecnología más apropiada entre las que ofrece el mercado.
- d. Objetivo:** Instalar sistemas de control de emisiones en los vehículos del sistema de transporte público existentes así como en aquellos que entrarán a ser parte del SITP.
- e. Variaciones:** Se proponen diez modos para la implementación de esta medida, en los cuales varía el sistema de control de emisiones que se aplica bajo dos escenarios. Un primer escenario (SCE1) en cual se instalarían sistemas de control de emisiones a toda la flota del sector de transporte público, y el número de fuentes corresponde a las del escenario tendencial (sin incluir SITP). Un segundo escenario (SCE2) en el cual la instalación de los sistemas de control se hará de manera paralela a la implementación del SITP.
- Modo 1: Instalar catalizadores oxidativos (DOC) en todos los vehículos de la flota de transporte público y aquellos que entran al SITP, según el escenario de evaluación.
 - Modo 2: Instalar sistemas de control de emisiones del cárter en todos los vehículos de la flota de transporte público y aquellos que entran al SITP, según el escenario de evaluación.
 - Modo 3: Instalar filtros de partículas para diésel (DPF) en todos los vehículos de la flota de transporte público y aquellos que entran al SITP según el escenario de evaluación.
 - Modo 4: Instalar filtros de paso (FTF) en todos los vehículos de la flota de transporte público y aquellos que entran al SITP, según el escenario de evaluación.
 - Modo 5: Instalar sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) en todos los vehículos de la flota de transporte público y aquellos que entran al SITP, según el escenario de evaluación.
- f. Tiempo de implementación:** La implementación de la medida se realizará de manera gradual en cinco años. Cada año se instalarán sistemas de control de emisiones al 20% de la flota. Este esquema representa un escenario conservador con respeto a la implementación esperada para el SITP.
- g. Impacto en el inventario de emisiones:** En las figuras FM7.A y FM7.B se presenta el efecto de la medida en las emisiones de PM de la flota de transporte público (incluido TM) en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial. Únicamente se presentan las emisiones de PM, debido a que los sistemas de control de emisiones se seleccionaron considerando principalmente su efecto en las emisiones de este contaminante.

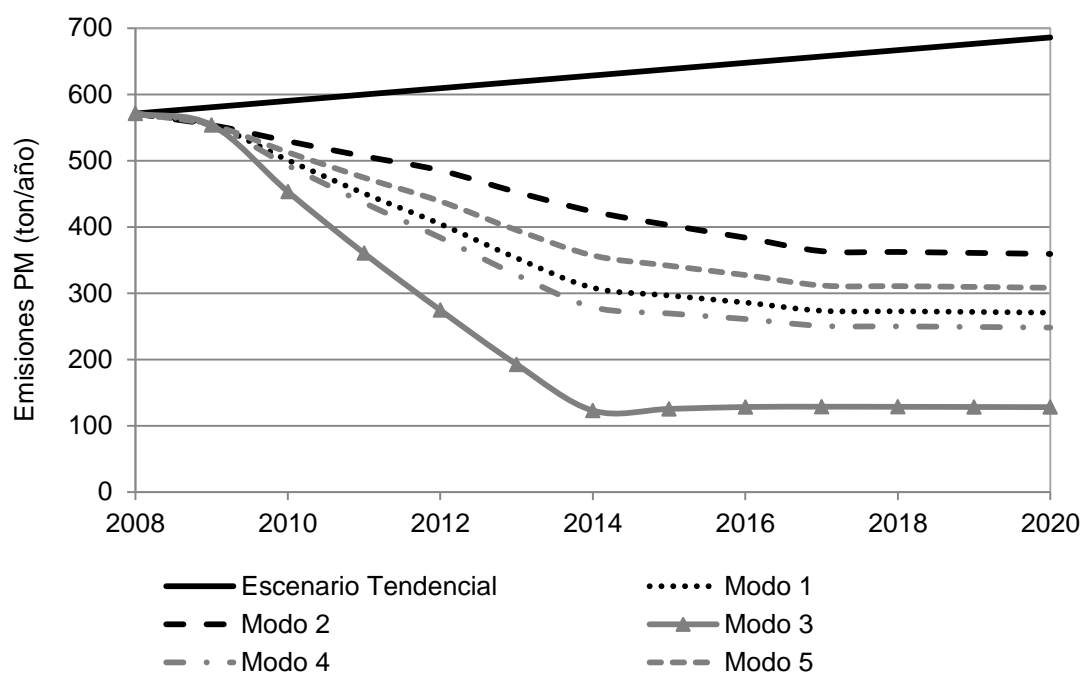


Figura FM7.A. Efecto de la medida (escenario SCE1) en las emisiones de PM del sector de transporte público en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

La diferencia entre los comportamientos de las series de tiempo en esta figura se explica por la brecha entre las eficiencias de remoción de PM con los que cuenta cada uno de los sistemas de control propuestos.

Por otro lado, el cambio en la pendiente de las series obedece a la finalización de los periodos de implementación de la medida. Mientras que en los primeros 5 años del decenio la disminución en las emisiones de PM son aceleradas, en la última mitad el inventario de emisiones tiende a estabilizarse bajo el supuesto de que todas las fuentes han alcanzado sus factores de emisión deseables (de hecho puede existir un ligero incremento en las mismas, derivado del incremento en el número de viajes totales que deberá movilizar la ciudad).

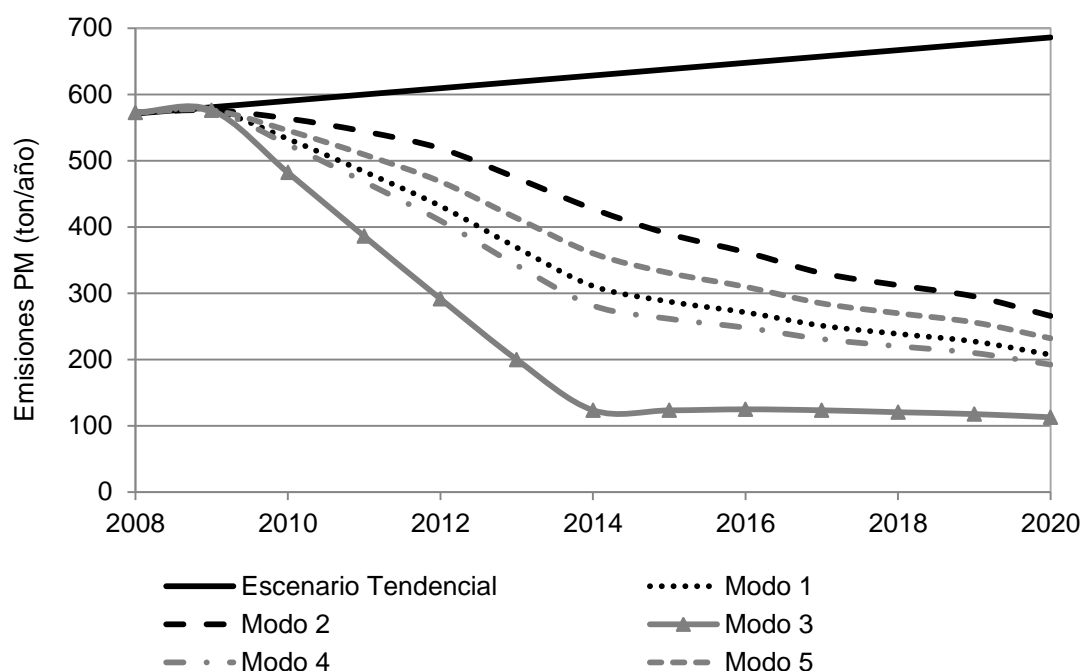


Figura FM7.B. Efecto de la medida (escenario SCE2) en las emisiones de PM del sector de transporte público en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

- h. Impacto sobre la calidad del aire:** En la Tabla FM7.A se presenta el impacto que tendría la aplicación de esta medida en la concentración de PM en el año 2020. Este valor se determinó a partir del cambio que se tendría en el inventario total de PM en la ciudad por la introducción de la medida. El porcentaje de reducción de emisiones que se presenta se estimó respecto al inventario total de fuentes móviles en el escenario tendencial.

Tabla FM7.A. Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.

Modo	Reducción en la emisión de PM año 2020		Reducción en la concentración de PM año 2020	
	SCE 1	SCE2	SCE 1	SCE2
Modo 1	8%	18%	3%	8%
Modo 2	<1%	16%	<1%	7%
Modo 3	19%	22%	8%	9%
Modo 4	9%	19%	4%	8%
Modo 5	5%	17%	2%	7%

i. Beneficios en exposición personal:

- El beneficio en exposición personal de esta medida se considera alto por las siguientes razones: tendría efecto sobre diferentes vías de la ciudad; disminución de la exposición de la población en microambientes relacionados con tráfico vehicular; reducción de la exposición al interior de la cabina de los vehículos que instalen sistemas de control de emisiones; reducción de la exposición en los vehículos que transiten cerca de los buses que instalen sistemas de control de emisiones.

- j. Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla FM7.B se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla FM7.B. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la compra de los sistemas de control de emisiones.	Negativo
	Aumento en los costos de los vehículos nuevos, si a estos se integra el costo de los sistemas de control de emisiones.	Negativo
	Gastos adicionales para adquirir los sistemas de control de emisiones por parte de los propietarios en caso de que sean éstos quienes deban asumir el costo directamente.	Negativo
	Surgimiento de nuevos mercados asociados a la compra masiva de sistemas de control de emisiones.	Positivo
	La obligatoriedad en el uso de sistemas de control de emisiones podría impulsar a la industria automotriz a ofrecer vehículos con tecnologías más limpias, disminuyendo a su vez los costos de comercialización.	Positivo
Social	Incremento de la conciencia ambiental de los usuarios y propietarios de los vehículos del sistema de transporte público.	Positivo
	Mejora en la calidad del servicio de transporte público.	Positivo
	Generación de empleo derivada de la comercialización, instalación y mantenimiento de los sistemas de control de emisiones.	Positivo
Educación	Capacitación a los empleados de talleres para la instalación y manejo de los convertidores catalíticos.	Positivo
Ambientales	Generación de residuos ocasionados por el reemplazo de los sistemas de control de emisiones cuando éstos cumplan su tiempo de vida útil.	Negativo

- k. Análisis de costos:** En la Tabla FM7.C se presenta el promedio del costo total para los dos escenarios con los cinco sistemas de control evaluados. Estos costos están asociados a la adquisición de los sistemas de control de emisiones. En la Tabla FM7.D se presenta el costo por tonelada de PM reducida.

Tabla FM7.C. Costo total.

Modo de implementación	Costo total (millones de pesos)	
	SCE1	SCE2
Modo 1	44,000	5,500
Modo 2	30,000	3,300
Modo 3	775,000	110,000
Modo 4	215,000	29,000
Modo 5	880,000	110,000

Tabla FM7.D. Costo por tonelada de PM reducida.

Modo de implementación	Costo por tonelada de PM (millones de pesos/ton PM)	
	SCE1	SCE2
Modo 1	13	1.6
Modo 2	12	1.3
Modo 3	159	22.6
Modo 4	60	8.1
Modo 5	297	37.1

- I. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla FM7.E. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Empresas comercializadoras de sistemas de control de emisiones	– Apoyar el proceso de concertación entre sectores.
Casas matrices de buses	– Dar garantía a los propietarios de buses nuevos sobre los sistemas de control de emisiones que tienen estos vehículos. – Recomendar las mejores opciones tecnológicas acerca de los sistemas de control de emisiones teniendo en cuenta las características específicas de operación de los diferentes tipos de buses existentes en la ciudad.
Talleres de mecánica	– Capacitarse en la instalación y manejo de los sistemas de control de emisiones. – Realizar los cambios en infraestructura necesarios para la implementación de la medida.

Tabla FM7.F. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Ambiente	– Liderar el proceso de implementación de la medida.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados. – Buscar apoyo internacional para aprovechar la experiencia de países y entidades expertos en el uso de sistemas de control de emisiones en buses. – Prestar servicios de asesoría técnica y financiera al sector de la industria encargado de la comercialización de los sistemas de control de emisiones. – Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan realizar la implementación de sistemas de control de emisiones si es la administración local la que decide asumir directamente los costos totales o parciales de la medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los propietarios y conductores de los buses acerca del programa. – Realizar actividades de control y seguimiento a la medida. – Liderar programas de capacitación técnica en conjunto con el SENA para los talleres mecánicos para la instalación de los sistemas de control de emisiones. Este debe contar con el apoyo de las casa matrices de los buses.
SENA	– Liderar el proceso de capacitación de operarios en el manejo e instalación de los sistemas de control de emisiones.
Secretaría de Movilidad	– Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.
Transmilenio S.A.	– Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida, como entidad encargada de la gestión del SITP.

Tabla FM7.G. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Propietarios y conductores de buses	<ul style="list-style-type: none"> – Participar en las actividades de divulgación de la medida propuestas por la autoridad. – Participar en la implementación de la medida en la manera propuesta por las autoridades. – Exigir información suficiente a las autoridades, casas matrices y comercializadores acerca de las consecuencias en el funcionamiento de las buses por el uso de sistemas de control de emisiones.

m. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:**1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:**

- Plan Maestro de Movilidad adoptado por el Distrito mediante el Decreto 319 del año 2006, propone dentro de los principios: sostenibilidad, reducción de los impactos ambientales y mayor eficiencia.
- Decreto 309 de 2009 define la estructura y los principales componentes del SITP.
- Resolución 910 de 2008, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de los contaminantes que deberían cumplir las fuentes móviles terrestres.

- Resolución 3500 de 2005, acerca de las condiciones que deben cumplir los centros de diagnóstico automotor, para realizar las revisiones técnico-mecánica y de gases de los vehículos automotores que circulen por el territorio nacional.
- Conpes 3344 de 2005 “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”, promueve las siguientes acciones: diseño de propuestas para incluir medidas de prevención y control de la contaminación del aire en las políticas y regulaciones de competencia del Ministerio de Transporte y el Ministerio de Minas y Energía.
- Ley 769 de 2002, por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito y se dictan otras disposiciones. Se dan condiciones acerca de la revisión Técnico Mecánica.
- Ley 1383 de 2010, con la cual se hacen modificaciones al Código Nacional de Tránsito.
- Política nacional de calidad del aire (MAVDT, 2008) prevé la necesidad de “coordinar con las autoridades territoriales de los grandes centros urbanos la planeación y ejecución de los planes integrales de movilidad y de los sistemas integrales de transporte masivo”.

2. Necesidad de cambios regulatorios:

- Definir protocolos de muestreo para verificar los factores de emisión de los vehículos. En la Resolución 910 de 2008 aún existen métodos inconvenientes para la aplicación de la medida, tales como la medición de opacidad.

3. Instrumentos financieros disponibles:

Los gastos relacionados con la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones podrían ser asumidos total o parcialmente por los propietarios de los buses. Para este caso se mencionan algunas alternativas de créditos blandos que podrían facilitar el pago de dichos sistemas. Asimismo podrían aplicar para la financiación de esta medida otras alternativas para casos en que se busque financiación para una flota de vehículos.

- Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas otorga cofinanciación para desarrollo tecnológico.
- Fonade, es una línea de financiación de proyectos para fortalecimiento empresarial bajo principios de asistencia técnica e innovación tecnológica, esto incluye implementación de proyectos de reconversión industrial e implementación de nuevas tecnologías.
- Línea de Crédito Ambiental diseñada por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales, es un mecanismo para financiar inversiones que busquen un impacto positivo sobre el medio ambiente así como incrementar el desarrollo sostenible en el país.
- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento del medio ambiente: Decreto 3172 de 2003 para deducción de renta y Decreto 2532 de 2002 para IVA.

4. Necesidad de creación de instrumentos financieros:

- Evaluar la opción de crear líneas de financiación con condiciones especiales para que las empresas del transporte público puedan hacer las inversiones necesarias para implementar sistemas de control de emisiones en todos los vehículos de su flota.

6. Otros:

- Esta medida requiere un bajo contenido de azufre en el combustible diésel, menor a 50 ppm para la mayoría de sistemas de control de emisiones y de hasta de 15 ppm para algunos. Es importante tener en cuenta este aspecto al momento de seleccionar los sistemas de control de emisiones.
- Crear capacidad técnica en las entidades encargadas de dar asesoría técnica y financiera a las empresas participantes en la medida.

- Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida para los sectores afectados y para la ciudadanía en general.
- Fortalecer la capacidad de control de la autoridad ambiental, para sancionar a quienes no cumplan con los niveles de emisión establecidos por la normativa nacional.

n. Barreras:

- Falta de información confiable para los propietarios de los vehículos acerca de los efectos que pueda tener la instalación de sistemas de control de emisiones en el funcionamiento de los buses.
- Oposición de los propietarios de los vehículos si deben asumir el costo de la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones.
- La no existencia de un mercado nacional de sistemas de control de emisiones.
- Puede ser una barrera que no se le exija también a los buses antiguos de TM la instalación de los sistemas de control de emisiones.

o. Estrategias de implementación de la medida: Existen múltiples formas en las que se podría llevar a cabo la medida propuesta. La definición del esquema de implementación depende de las prioridades del gobierno, de la capacidad financiera de las entidades y de los sectores involucrados, de la capacidad técnica y de comando y control de las autoridades, entre otros aspectos. A continuación se enumeran algunas opciones que podrían considerarse al momento de definir el esquema de implementación que va a seguirse para desarrollar esta medida. En la Figura FM7.C se presentan diferentes opciones de implementación de la medida mediante un diagrama lógico.

Aspectos técnicos:

1. Identificar en la base de datos de la Secretaría de Movilidad el número de buses al que habría que instalarles sistema de control de emisiones.
2. Definir la tecnología más apropiada para cada tipo de bus, según sus características técnico-mecánicas.
3. Identificar el modo en que se va a implementar la medida.
4. Considerar la vida útil de los sistemas de control de emisiones para prever medidas tendientes a mantener los estándares de emisión en niveles permisibles.
5. Asegurarse que los talleres especializados para vehículos de transporte público, estén capacitados para evaluar el estado de los sistemas de control y para instalar el sistema de control más adecuado para cada tipo de vehículo.

Aspectos financieros:

1. El Distrito podría asumir una proporción del costo de la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones.
2. Se podría evaluar la opción de reducir los impuestos de importación de los sistemas de control.
3. El Distrito podría asumir una proporción del costo de la adquisición e instalación de los sistemas de control de emisiones mediante una porción de los recursos recolectados a través del fondo para el mejoramiento de la calidad del servicio. Las prioridades presupuestales que regirían el destino de estos recursos se deben definir año a año según la evolución tecnológica del parque automotor. Es posible que los vehículos que se ensamblen en el país en la segunda mitad del decenio ya cuenten con sistemas de control de emisiones eficientes y no sea necesario invertir dinero en la instalación de este tipo de tecnologías.
4. Identificar los proveedores presentes en el mercado actual y los proveedores potenciales, para establecer canales institucionales de comunicación y negociación con ellos, con el ánimo de disminuir los costos de implementación de la medida.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Crear un programa distrital para instalar sistemas de control de emisiones en los buses de transporte público, en los que el Distrito asuma el costo total de la medida.
2. Crear un programa de instalación de los sistemas de control que incluya, además de incentivos financieros, otros incentivos como por ejemplo eximir de la revisión técnico mecánica por un periodo a los buses que instalen sistemas de control de emisiones.
3. Obligar por medio de una norma la instalación de los sistemas de control de emisiones en todos los buses del servicio de transporte público.
4. Reglamentar claramente las estrategias de inversión del dinero recolectado en el fondo para el mejoramiento de la calidad del servicio, en caso de ser necesario para la implementación de la medida.

Aspectos educativos:

1. Iniciar programas de concientización y divulgación de la medida, con el fin de obtener aceptación por parte del sector afectado.
2. Crear programas de educación acerca de las ventajas de las buenas prácticas de mantenimiento de los vehículos como apoyo a la medida.

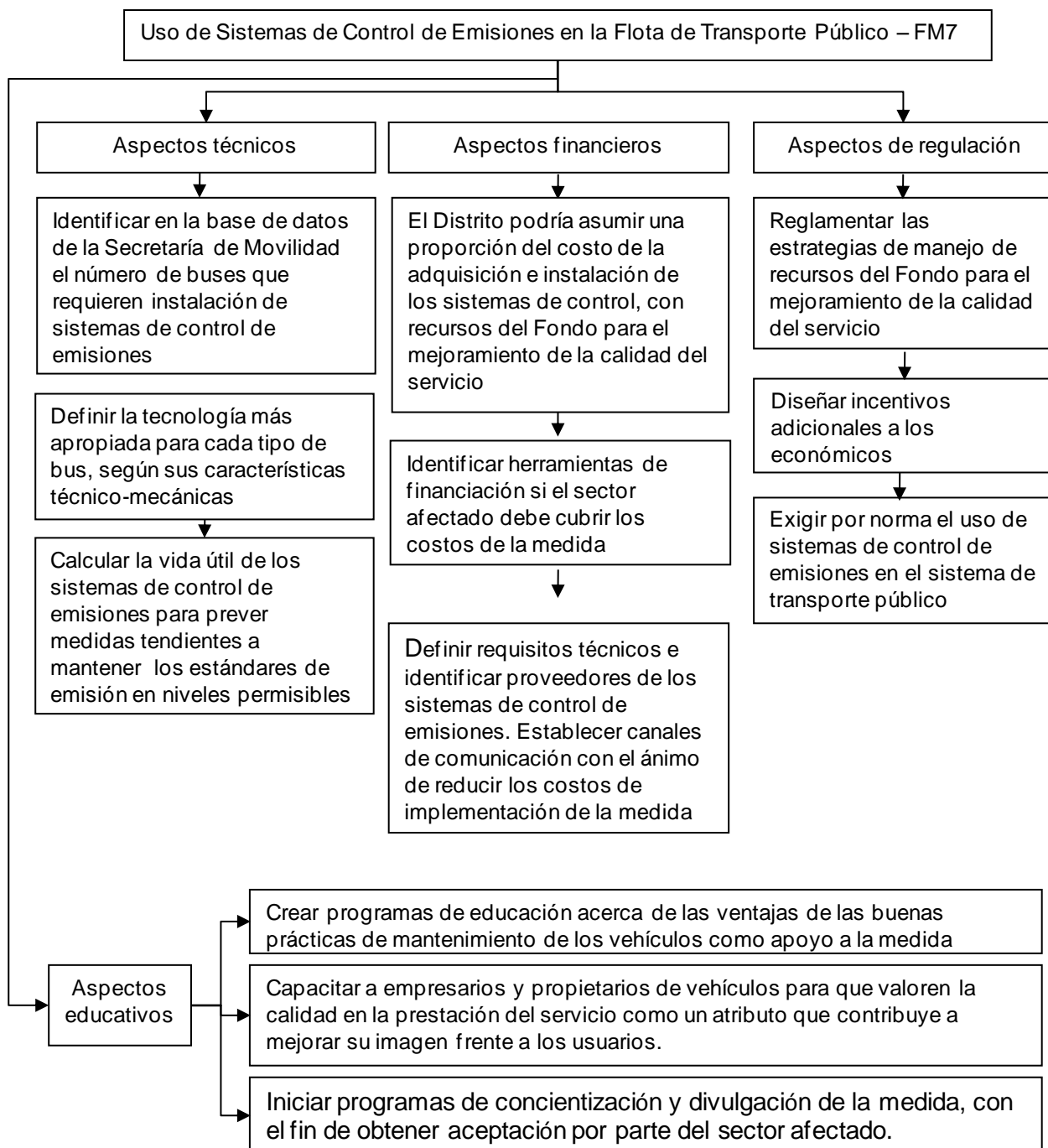


Figura FM7.C. Alternativas de implementación de la medida.

7. SELECCIÓN DE PROYECTOS PARA EL PLAN DECENAL DE DESCONTAMINACIÓN

La selección de las medidas del plan se realizó mediante el uso de un modelo de optimización (ver Sección 3 del Documento de Trabajo). Este ejercicio dio como resultado el portafolio óptimo de proyectos, es decir la combinación de los proyectos que permite lograr las metas del plan de descontaminación al menor costo posible. Adicionalmente, el modelo de optimización permitió obtener el cronograma de implementación de las medidas.

Las medidas incluidas en el proceso de optimización y los diferentes modos de implementación de cada una se presentaron en la Sección 6 de este documento. En total se analizaron 54 modos de implementación para las medidas propuestas.

En la Tabla 2 se presenta la meta de emisiones de PM para el año 2020 propuesta para el plan de descontaminación, con el beneficio esperado en términos de calidad del aire.

Tabla 2. Meta en emisiones de PM del plan de descontaminación.

Emisión de PM año 2020 (Ton/año)	Concentración PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹
940	50

¹ Este valor representa la concentración de PM que se tendría en el año 2020.

Para cumplir la meta de calidad del aire en referencia es necesario tener como emisión anual en el año 2020 alrededor de 940 toneladas de PM. Esta meta de emisión es cercana al potencial máximo de reducción que se tiene tanto para fuentes fijas como para fuentes móviles con los proyectos analizados, y esto se ve reflejado en el número de proyectos que será necesario implementar y en su costo.

El costo total del plan de descontaminación se estima en 1.7 billones de pesos e incluye la implementación de los proyectos mínimos necesarios para lograr las metas del plan (ver Tabla 3). En el sector industrial se requiere el uso de sistemas de control de emisiones, la sustitución de combustibles hacia el uso de gas natural y la formalización de una fracción de las industrias del sector informal. Por su parte, entre las medidas para el sector transporte se incluye el uso de sistemas 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 SITP.

Para este último caso debe resaltarse que las consecuencias 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, sin el 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 3. Portafolio óptimo de medidas del plan.

Medida	Sector	Proyecto	Modo	Descripción
1	Industrial	Uso de sistemas de control de emisiones	2	Instalación de sistemas de control de emisiones de la forma más costo-efectiva posible sin ponderar por tipo de categoría industrial (ver Sección 6.1.3)
2	Industrial	Conversión de carbón a gas natural y formalización	5	Transformación tecnológica para el 100% de las fuentes que actualmente usan carbón para que éstas utilicen gas natural. Esto en combinación con la formalización del 50% de las industrias que se encuentran fuera del sector formal (ver Sección 6.1.2)
3	Transporte	Uso de sistemas de control de emisiones en vehículos de transporte de carga	1	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 (ver Sección 6.2.5)
4	Transporte	Uso de sistemas de control de emisiones en motocicletas	4	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 al parque (ver Sección 6.2.4)
5	Transporte (SITP)	Implementación del sistema integrado de transporte público		Implementar el SITP con su programa de renovación continua de flota y chatarrización (ver Sección 6.2.6)
6	Transporte (SITP)	Uso de sistemas de control de emisiones en alimentadores que ingresan al SITP	3	Instalación de filtros de partículas en aquellos buses y busetas que entrarán a formar parte de la flota alimentadora del SITP (ver Sección 6.2.7)

Tabla 4. Cronograma de implementación de las medidas.

Medida	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1										+	+
2				+	+	+	+	+			
3			+	+	+	+	+	+	+	+	+
4			+	+	+	+	+	+	+	+	+
5		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6		+	+	+	+	+					

Según la programación óptima de los proyectos que conforman el plan, 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 implementación de uso de sistemas de control de emisiones en la flota de transporte de carga y motocicletas, y en el sector industria la sustitución de combustibles mediante gas natural. Finalmente, hacia el final del periodo de planeación se debería iniciar la implementación del uso sistemas de control de emisiones en la industria.

En las figuras 7-10 se presentan las emisiones de PM, NOX, CO y COT para el período 2008-2020. En estas figuras la sombra gris alrededor de las líneas del escenario tendencial y del escenario con plan de descontaminación representa de manera esquemática la incertidumbre asociada a la estimación de dichos valores.

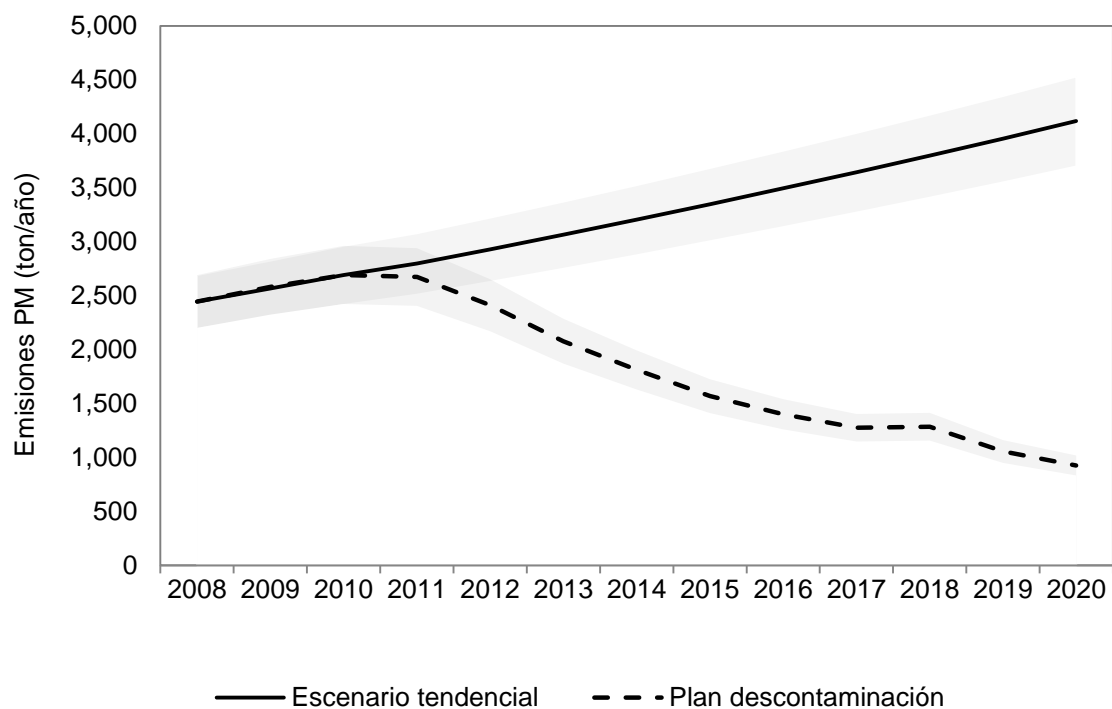


Figura 7. Emisiones de material particulado entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.

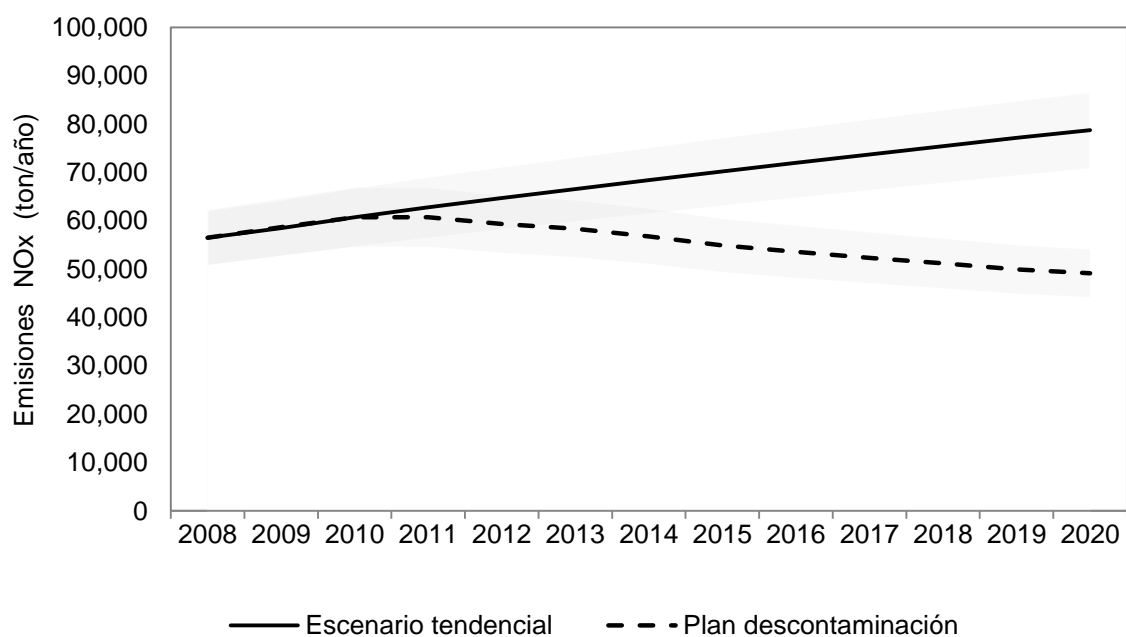


Figura 8. Emisiones de óxidos de nitrógeno entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.

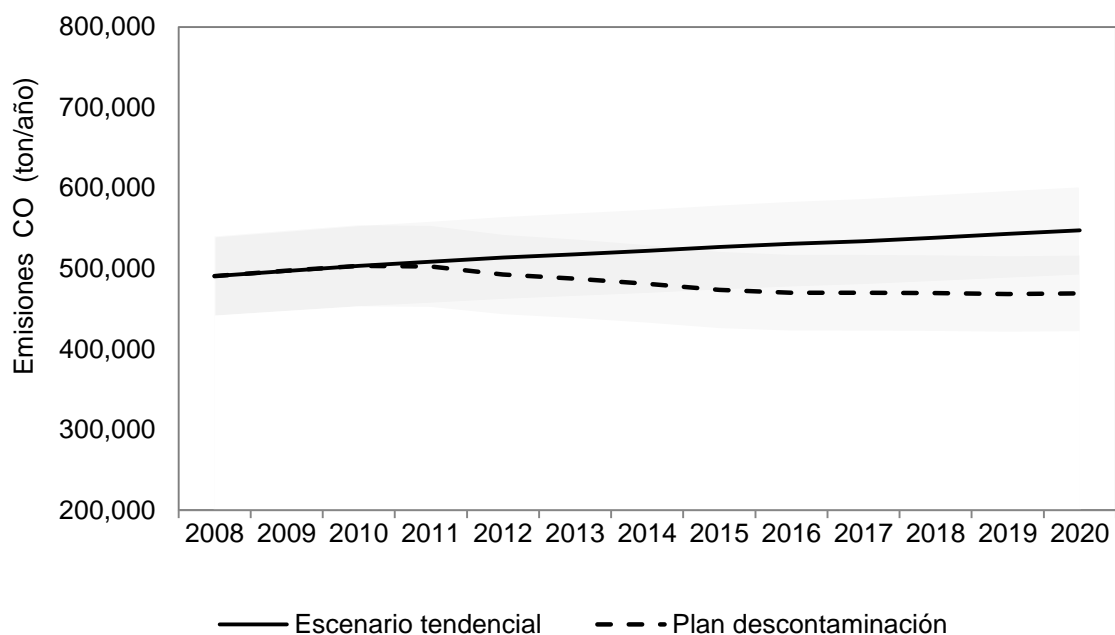


Figura 9. Emisiones de monóxido de carbono entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.

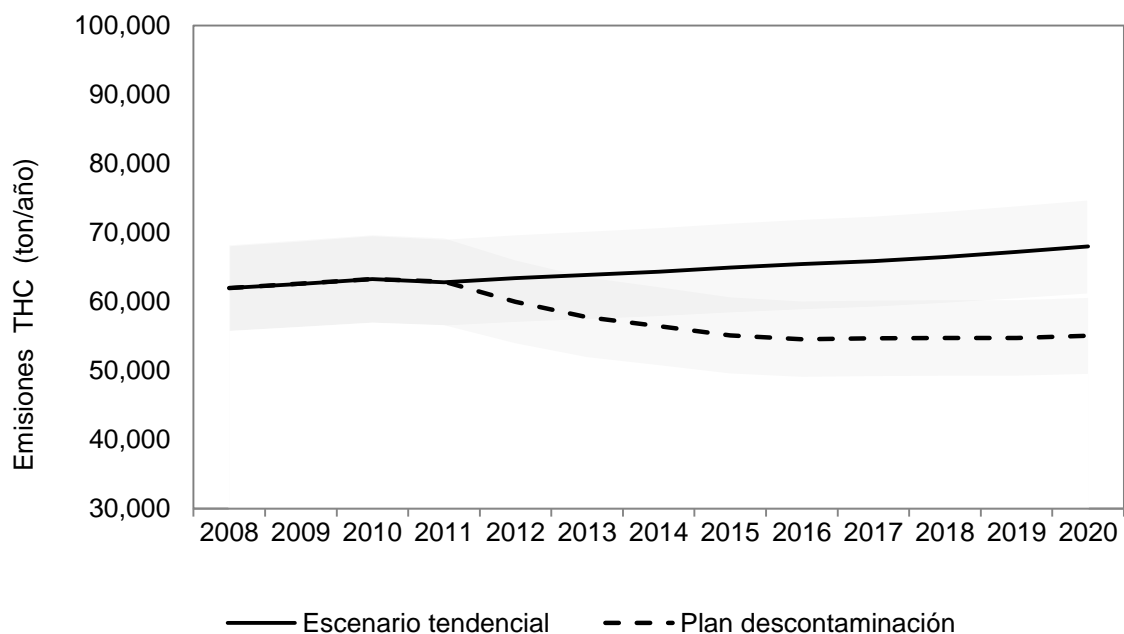


Figura 10. Emisiones de compuestos orgánicos totales entre los años 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.

En la Tabla 5 se presentan las emisiones acumuladas en el periodo comprendido entre los años 2008 y 2020 de los contaminantes en el escenario tendencial y las que se tendrían con la aplicación del plan de descontaminación. Adicionalmente, se presenta la reducción que se tendría para cada uno de los contaminantes en el escenario con plan en comparación con el tendencial.

Tabla 5. Comparación entre las emisiones acumuladas en los dos escenarios.

Escenario	Emisiones acumuladas 2008-2020 (Ton)				
	PM	NO _x	CO	TOC	CO ₂ /1,000
Línea base	43,400	883,000	6,700,000	830,000	150,000
Plan descontaminación	24,000	714,000	6,200,000	742,000	111,000
Reducción (%) ¹	45%	19%	8%	11%	26%

¹ El valor de reducción se refiere al porcentaje de emisiones que se dejan de emitir con la implementación del PDDb respecto a las emisiones acumuladas en el escenario tendencial.

Con la implementación del plan de descontaminación se dejaría de emitir en términos de emisiones acumuladas para el periodo 2010-2020, el 45% de las emisiones acumuladas de PM que se tendrían en el escenario tendencial. Se obtienen menores beneficios en la reducción de toneladas acumuladas de NO_x, CO y TOC. De estos tres contaminantes se dejaría de emitir el 19%, 8% y 11%, respectivamente.

En cuanto a las emisiones anuales con la implementación del plan se espera una reducción de alrededor del 80% en la emisión anual de PM en el año 2020 en comparación con el año 2008, cumpliendo así con la meta establecida en niveles de concentración. Se espera que se deje de emitir el alrededor del 40% de la emisión anual de NO_x y de alrededor del 20% de TOC.

8. MEDIDAS COMPLEMENTARIAS

A continuación se mencionan una serie de estrategias complementarias a las medidas técnicas que fueron discutidas en secciones previas de este informe. Varias de dichas medidas fueron mencionadas en el reporte final del proyecto de formulación de lineamientos técnicos del plan de descontaminación (SDA-SUR, 2008). Otras corresponden a aspectos técnicos que no fueron evaluados en términos de costo efectividad pero que se consideran necesarias y relevantes como parte del plan de descontaminación de la ciudad. Adicionalmente, se incluyen una serie de medidas y recomendaciones que complementan la visión técnica del problema, las cuales fueron planteadas por la ciudadanía en el proceso de política participativa que se realizó como parte del PDDB.

Las medidas y recomendaciones se presentan organizadas en cuatro categorías: **1)** Medidas y recomendaciones generadas como producto del proceso de política participativa; **2)** Medidas y recomendaciones relacionadas con las fuentes industriales; **3)** Medidas y recomendaciones relacionadas con las fuentes vehiculares; y **4)** Otras recomendaciones.

8.1. Medidas y recomendaciones sugeridas por la ciudadanía en el proceso de política participativa

8.1.1. *Divulgación y educación a la ciudadanía sobre temas relacionados con la calidad del aire en Bogotá*

- a. Descripción:** Los resultados de los talleres de política participativa dan indicios acerca de la necesidad de crear programas de formación y sensibilización dirigidos hacia toda la población (niños, adultos y programas para las familias). Dichos programas permitirían educar a la población en lo relacionado con las características, causas y consecuencias de los distintos problemas asociados con la contaminación del aire, de manera que sus propias acciones puedan orientarse de mejor forma en la búsqueda de soluciones.

La ciudadanía propone que se divulgue la información específica en cuanto a los daños que los ciudadanos y las empresas pueden ocasionarle al medio ambiente en relación con la calidad del aire. Asimismo, que se dé información acerca de la gestión de las autoridades ambientales y se generen mecanismos de comunicación entre la ciudadanía y éstas con el fin de colaborar en el seguimiento de problemas.

En varios de los talleres de política participativa fue recurrente el reclamo por el poco conocimiento de los ciudadanos acerca de las normas ambientales y sobre la institucionalidad encargada de la calidad del aire en la ciudad. Como resulta evidente, esto pone de manifiesto un desafío educativo para las autoridades y para los tomadores de decisión. La contribución ciudadana en la solución de los problemas de contaminación puede incrementarse significativamente si se reducen las asimetrías de información entre quienes formulan las normativas y quienes deben cumplirlas.

La pedagogía es clave en la activación de la participación ciudadana y para ello el Distrito no solo podría generar espacios de participación, clamor sentido en varias de las localidades participantes, sino capacitar y formar para que la participación se presente de una manera proactiva, eficaz y alejada de las lógicas simplistas (v.g., “sector público ineficiente”, “ciudadanos combativos y saboteadores”). Una

estrategia de educación, además de contar con la participación de la SDA, podría contar con la participación de otras instancias gubernamentales, de la academia y de los medios de comunicación.

De la misma manera, para tener en cuenta lo que percibe la ciudadanía sobre el problema descrito se propone que se desarrollen mecanismos de divulgación para que la comunidad se entere de las medidas que se toman al respecto y asimismo se divulguen medidas que pueden realizar autónomamente los usuarios de vehículos particulares con el objetivo de contribuir con la política de descontaminación del aire en Bogotá. Al respecto, se plantea la necesidad de fortalecer la concientización de los gremios de transportadores, acompañados de una debida divulgación a la ciudadanía acerca de los procesos y resultados logrados al apoyarse en el sector de transporte como estrategia de trabajo en la descontaminación del aire en la ciudad.

De manera resumida, esta medida propone continuar y fortalecer los programas de concientización de la SDA; crear espacios adicionales de educación mediante el uso de medios masivos de comunicación; crear campañas específicas de educación y divulgación de las medidas del plan de descontaminación; dar a la comunidad mayores herramientas que permitan que la ciudadanía pueda conocer de mejor manera el problema de calidad del aire de la ciudad así como las soluciones propuestas por el gobierno local.

- b. Objetivo:** Esta medida busca fortalecer los programas de concientización, educación e información a la ciudadanía sobre temas relacionados con la calidad del aire.
- c. Variaciones de la medida:** en este caso se proponen diferentes alternativas que a su vez se consideran complementarias ya que involucran diferentes sectores de la comunidad y diferentes aspectos.
 - Programas de educación para la ciudadanía en general en los temas relacionados con la calidad del aire y en la importancia del mismo en términos de salud y calidad de vida de la población. Estos programas podrían incluirse como parte de los programas de educación de los colegios y universidades. Asimismo podrían realizarse programas de educación mediante talleres en entidades del gobierno y empresas privadas y en conjunto con otras actividades culturales que se realicen en la ciudad.
 - Programas de divulgación del estado actual de la calidad del aire de la ciudad. En este caso se propone que se cuenten con medios masivos de comunicación que le permitan a la ciudadanía saber cómo está cada día la calidad del aire en las diferentes zonas de la ciudad. Para esto se proponen las siguientes opciones: 1) creación de espacios en los noticieros en televisión; 2) informar a través de los tableros electrónicos con los que se cuenta en la ciudad para informar la hora y la temperatura; 3) divulgar esta información en lugares de alta afluencia como por ejemplo en las estaciones y portales del sistema Transmilenio.

Además de estas opciones, la SDA cuenta con un sistema de publicación de la información de calidad del aire a través de su página Web, esta se podría incluir como un link en las diferentes páginas de las entidades del gobierno, así como en las páginas web de los periódicos locales y nacionales.

- Programas de divulgación de las acciones que están siendo desarrolladas por las diferentes entidades del gobierno para mejorar la calidad del aire de la ciudad. Asimismo, informar a la ciudadanía acerca de la evolución del problema de calidad del aire.

d. Impactos sobre otros sectores: En la siguiente tabla se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla MC1.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Social	Incremento de la conciencia ambiental de los ciudadanos en cuanto al problema de calidad del aire y sus soluciones.	Positivo
	Tener mayor conocimiento puede motivar a la ciudadanía a actuar como veedores de las medidas del plan de descontaminación. Un mayor conocimiento acerca del problema puede ser un elemento que motive a las personas a exigir soluciones a los principales responsables del problema. Asimismo, puede ser un elemento que contribuya a la aceptación y participación de la ciudadanía en la implementación de las medidas del PDDB.	Positivo

e. Actores: A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla MC1.B. Actores.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de implementación de la medida. – Creación de algunos de los programas de educación y divulgación.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados. – Buscar apoyo internacional para la creación de programas efectivos de capacitación de la comunidad. – Prestar servicios de asesoría técnica a las entidades que participen en la divulgación de información y en las campañas educativas. – Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan realizar las campañas y que permitan garantizar la continuidad de esta medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Proveer la información para que otros actores divulguen, y para la academia. – Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los principales actores involucrados en la implementación de las medidas del plan. – Realizar actividades de seguimiento a la medida. – Liderar programas de capacitación técnica en conjunto con el SENA.
SENA	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de capacitación de las personas encargadas de realizar labores de educación y divulgación de la información a la comunidad.
Secretaría de Educación	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso de incluir la información de calidad del aire en los programas de educación de colegios y universidades. – Motivar y lograr la adecuada participación de los docentes en la implementación y desarrollo de la medida.
Secretaría de Hacienda	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

Comisión Nacional de Televisión	– Apoyar los programas de divulgación mediante este medio masivo de comunicación.
Entidades educativas	– Participar de manera comprometida en la implementación de los programas que plantee la administración local.
Ciudadanía	– Apoyar el proceso dando retroalimentación acerca de los programas que se desarrollen. – Participar activamente en los diferentes programas.

f. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Decreto 2811 de 1974 “Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y Protección al Medio Ambiente”. En el Título II “Acción educativa, uso de medios de comunicación social y servicio nacional ambiental” establece que el gobierno promoverá cursos relacionados con el medio ambiente y asimismo promoverá la realización de jornadas ambientales con participación de la comunidad y campañas de educación popular.
- La Constitución de 1991 establece en su Artículo 79 “Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”.
- La Ley 99 de 1993 entrega como función a los ministerios de educación y ambiente lo relativo al desarrollo y la ejecución de planes, programas y proyectos de educación ambiental que hacen parte del servicio público educativo.
- Decreto 1743 de 1994 por el cual se instituye el Proyecto de Educación Ambiental para todos los niveles de educación formal, se fijan criterios para la promoción de la educación ambiental no formal e informal y se establecen los mecanismos de coordinación entre el Ministerio de Educación y el Ministerio de Medio Ambiente.
- Aprovechar la existencia de los Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental (CIDEA) de otras regiones del país, creados a partir del Decreto 1743 de 1994, para implementar programas similares en Bogotá. Entre las funciones de estos comités está la de promover los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) y los Proyectos Ciudadanos de Educación Ambiental (PROCEDA).
- Actualmente existen múltiples entidades de orden local y nacional que incluyen entre sus temas de trabajo la educación ambiental, a través del MAVDT y la SDA se podría coordinar acciones de éstas dirigidas a la concientización y educación en temas relacionados con la calidad del aire.
- Decreto Distrital 617 de 2007 “Política Pública Distrital de Educación Ambiental”, por medio del cual se busca expresar y concertar los fundamentos, las directrices, las acciones y las responsabilidades sociales ligadas a los procesos de educación ambiental en Bogotá.

g. Estrategias de implementación de la medida: A continuación se presentan algunos aspectos básicos en relación con las estrategias de implementación propuestas para la medida en referencia.

Aspectos técnicos:

1. Creación de un comité intersectorial para la definición de los contenidos temáticos y elementos técnicos de divulgación. Deben establecerse subcomités especializados para la ejecución de los programas diseñados.
2. Selección de medios de divulgación de la información.
3. Diseño de elementos de divulgación según grupos objetivo.

4. Establecimiento de un programa de capacitación a la comunidad organizada sobre temas ambientales.
5. Establecimiento de un canal de comunicación de fácil acceso entre la comunidad y la autoridad ambiental (por ejemplo teléfono verde).

Aspectos normativos:

1. Establecimiento de normativa para la obligatoriedad de la difusión de la información ambiental de calidad del aire por parte de la autoridad ambiental, entidades educativas y entidades del gobierno.

Aspectos financieros:

1. Asignación presupuestal específica por parte de la alcaldía para las actividades de divulgación y educación.
2. Búsqueda de alternativas de financiación del programa por medio de pautas publicitarias en los medios de divulgación definidos.

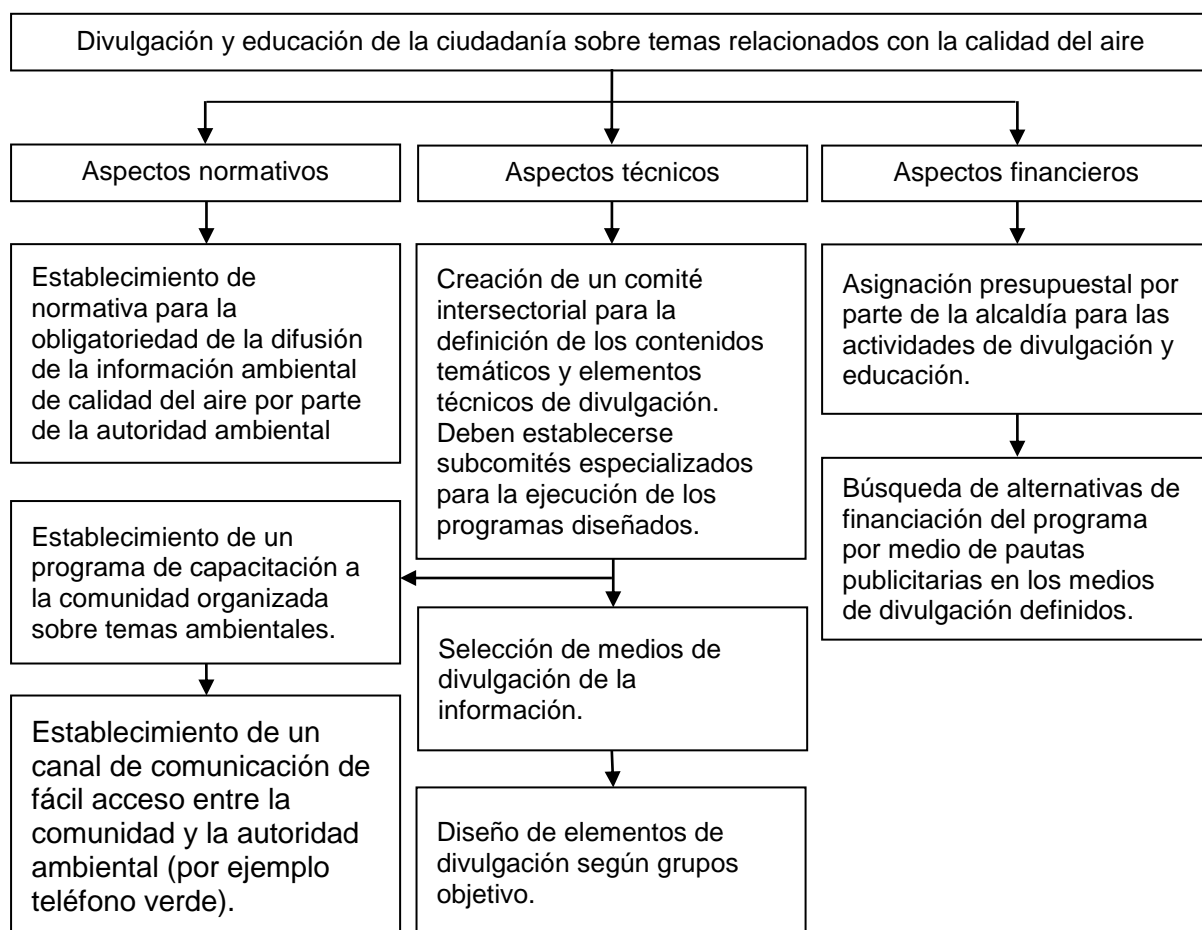


Figura MC1.A. Opciones de implementación de la medida.

8.1.2. Seguimiento y cuantificación de las emisiones provenientes de incendios forestales

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes dispersas o difusas.
- b. **Categoría:** Incendios forestales
- c. **Descripción:** A nivel internacional varios estudios han sugerido que existe una relación significativa entre la ocurrencia de incendios forestales y el aumento de la concentración de determinados contaminantes en áreas urbanas. Por ejemplo, Solberg (2003), sugirió que el aumento repentino en la concentración de ozono troposférico en Londres durante agosto del 2003 puede deberse, entre otras cosas, a incendios forestales ocurridos en Siberia. También durante la primavera del 2006, buena parte del Reino Unido experimentó un incremento en la concentración de PM_{10} atribuible a incendios forestales en Rusia (Whitham et al, 2007).

Para el caso de Bogotá, se cuenta con alguna información que sugiere la relevancia del impacto de los incendios en la calidad del aire de la ciudad pero dicha información aun no es concluyente. Por esta razón es imperativo que se estudie y mejore el entendimiento que se tiene en la ciudad sobre este tema en particular.

Por ejemplo, en los informes anuales de la RMCAB, publicados entre 1997 y 2009, se encontraron análisis del fenómeno en referencia en una sola ocasión ($PM_{2.5}$ en Estación de Kennedy en el segundo trimestre del 2007 - ver Figura MC2.A). Asimismo, los eventos críticos de contaminación referenciados en la misma no siempre coinciden con la ocurrencia de incendios en la ciudad (ver figuras MC2.B y MC2.C).

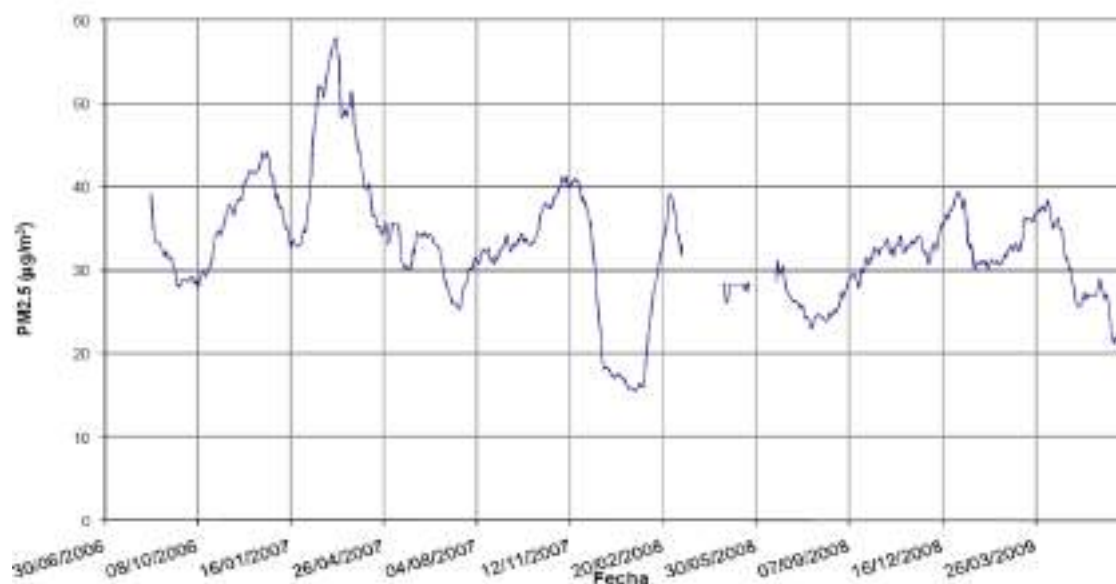


Figura MC2.A. Media móvil (30 días) - Concentración de $PM_{2.5}$ en Estación Kennedy.
Fuente: SDA (2009).

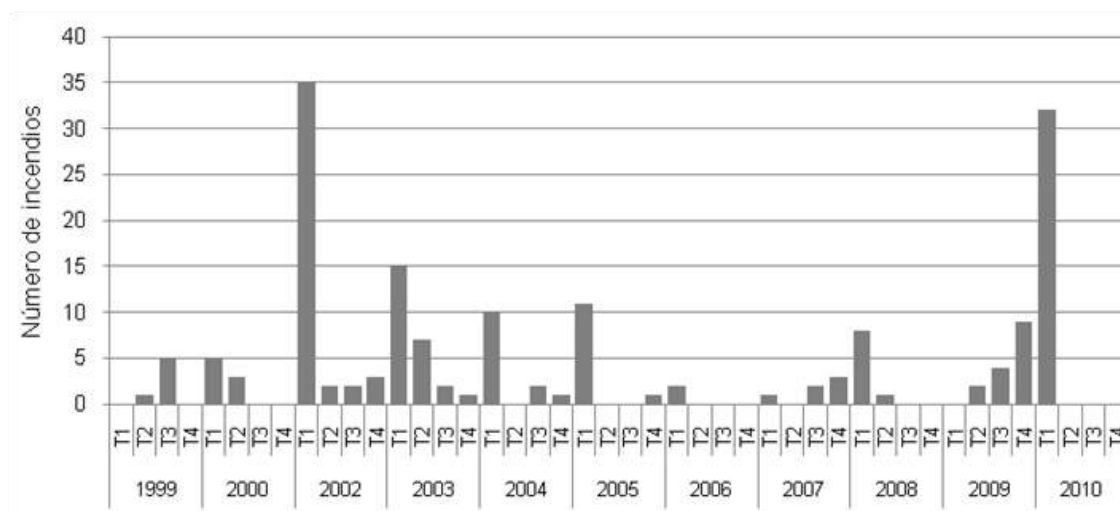


Figura MC2.B. Número de incendios ocurridos en Bogotá por trimestres.

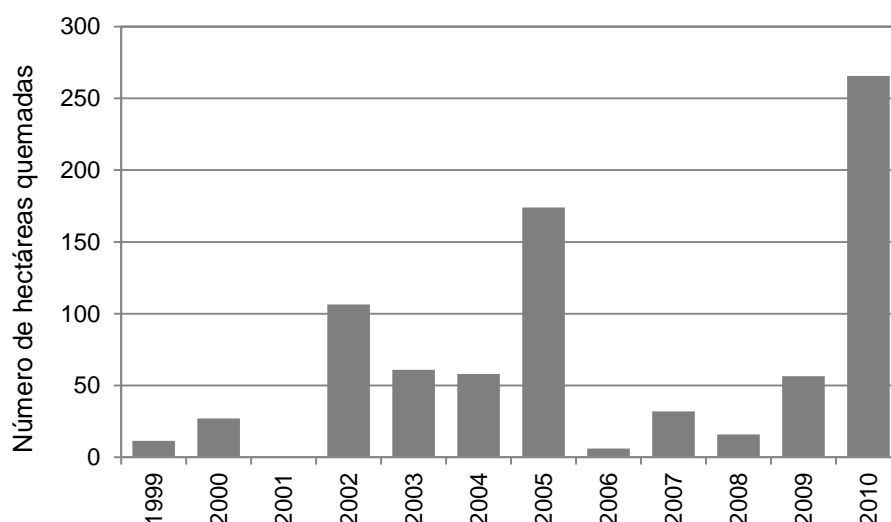


Figura MC2.C. Tamaño de los incendios registrados anualmente.

Dada la injerencia de variables meteorológicas y del complejo mecanismo de actuación de los incendios forestales, es clara la dificultad para identificar las correlaciones entre dichos eventos y los incrementos de concentración de contaminantes en diferentes puntos de la ciudad. En este sentido, dada la potencial importancia de estas fuentes, se recomienda nuevamente destinar recursos que permitan un mejor entendimiento del problema.

En el año 2008, el Comité Distrital de Prevención y Mitigación de Incendios Forestales, adelantó un análisis de riesgo de incendios forestales a través del cual se concluyó lo siguiente:

- Aproximadamente cada 3 años hay períodos con alta ocurrencia de incendios forestales, que han coincidido con una gran superficie quemada.
- El 2005 y 2007 son los años en el que la curva de área afectada sobrepasa a la de cantidad de eventos, lo que implica una fuerte incidencia climática en dichos años.

- La ocurrencia de incendios forestales está ligada al régimen bimodal de lluvias que experimenta la ciudad.
- La época de mayor ocurrencia de incendios forestales es entre enero y marzo.
- Febrero es el mes de mayor ocurrencia de incendios forestales, así como de mayor área de afectación.
- El 63% de la vegetación afectada corresponde a coberturas nativas.

De aquí es evidente que se han definido zonas y periodos en los cuales se pueden adelantar estrategias de prevención de incendios forestales, además de definir planes de reacción específicos para los lugares con mayor incidencia. Sin embargo, este tipo de análisis no arroja ningún tipo de luces acerca de la injerencia de los mismos sobre la calidad del aire de la ciudad.

Por esta razón, la medida propuesta consiste en la adelantar investigaciones que permitan identificar factores de emisión para los incendios forestales, dependiendo del tamaño del área afectada, de la ecología de la misma, y del contexto meteorológico del evento. Esto permitiría adelantar acciones preventivas en determinadas zonas de la ciudad, en caso de que este tipo de eventos puedan implicar un aumento elevado de la concentración de contaminantes de PM poniendo a la población en riesgo.

Aunado a lo anterior, esta medida contemplará una articulación con proyectos de reforestación que propendan por la recuperación ecológica de las zonas afectadas por los incendios forestales.

- d. **Objetivo:** Identificar factores de emisión de los incendios forestales en Bogotá, y modelar las implicaciones de los mismos sobre la calidad del aire de la ciudad. Lo anterior complementado con un programa de reforestación que permita recuperar las áreas afectadas.
- e. **Beneficios en exposición personal:** La identificación clara de zonas de incidencia de los contaminantes provenientes de incendios forestales, permitiría prevenir la exposición a los mismos por parte de la población.
- f. **Impactos sobre otros sectores:**

Tabla MC2.A. Impactos sobre otros sectores.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Aumento de la demanda de bienes y servicios asociados con los procesos de reforestación y mantenimiento de especies vegetales, que puede redundar en la generación de empleo.	Positivo
	En caso de identificar zonas en donde el impacto de incendios forestales sea suficientemente relevante, podría ser necesario tomar medidas coyunturales de emergencia, tales como detener momentáneamente determinadas actividades productivas.	Negativo
	Pérdida de valor de las tierras identificadas como susceptibles frente a la incidencia de incendios forestales.	Negativo
Social	Disminución de la incidencia de enfermedades relacionadas con la exposición a los contaminantes atmosféricos emitidos durante los incendios forestales.	Positivo

	Desplazamiento y reubicación de personas que han ubicado su vivienda en lugares con alta incidencia de incendios forestales.	Positivo
Ambientales	El reemplazo de la cobertura vegetal que eventualmente puede perderse en una conflagración, puede dar cabida a procesos de recuperación de especies vegetales autóctonas, mediante esquemas especiales de reforestación.	Positivo
	Mejoramiento de la calidad paisajística de las zonas en las que se apliquen programas de reforestación.	Positivo

g. Actores:

Tabla MC2.B. Actores de la medida.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados. – Definir programas intersectoriales para dotar de integralidad a la medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Adelantar las estrategias de educación y divulgación necesarias para la prevención de los incendios forestales por causas antropogénicas. – Convocar a líderes comunitarios para articular sistemas de alerta temprana de incendios forestales, en especial en zonas de importancia ecológica o con alto riesgo de exposición personal a contaminantes. – Adelantar los trámites pertinentes para la intervención de la cobertura vegetal como mecanismo de mitigación de incendios forestales y la restauración de las áreas afectadas.
Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias y Defensa Civil Colombiana Seccional Bogotá	<ul style="list-style-type: none"> – Mantener actualizados los sistemas de información disponibles para adelantar los estudios pertinentes. – Establecer las condiciones técnicas y humanas requeridas para enfrentar las situaciones de emergencia, según los análisis de incidencia y magnitud de los incendios forestales.
Jardín Botánico "José Celestino Mutis", Instituto Distrital para la Recreación y el Deporte, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Universidad Distrital Francisco José de Caldas	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar los procesos de recuperación de la cobertura vegetal perdida durante las conflagraciones. – Definir las zonas prioritarias de intervención para la restauración paisajística y ecosistémica, así como las especies vegetales más adecuadas.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> – Definir herramientas que permitan identificar las zonas y los momentos con mayor riesgo de incidencia de incendios forestales.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	<ul style="list-style-type: none"> – Establecer mecanismos de apoyo a las entidades responsables de las actividades de reacción y mitigación. – Construcción de reservorios de agua en sitios estratégicos.
---	---

h. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida: Las normas sobre las cuales se articula el arreglo institucional en torno a la gestión de incendios forestales son el Decreto 146 de 2005 (Por el cual se crea la Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales y se dictan otras disposiciones), y el Decreto Distrital No. 332 del 2004, mediante el cual se crea el "Sistema Distrital para la Prevención y Atención de Emergencias (SDPAE).
2. Instrumentos financieros disponibles: Los fondos presupuestados por las entidades asociadas a la Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales para este fin pueden dirigirse a apoyar medidas como la propuesta, siempre y cuando se dé el proceso de concertación adecuado y respaldado por necesidades reales.

i. Estrategias de implementación de la medida:

Aspectos técnicos:

1. Es necesario diseñar o aplicar una metodología que permita cuantificar las emisiones provenientes de los incendios forestales, dependiendo de variables como la cobertura vegetal afectada y la temperatura ambiental.
2. Apoyar los planes de reforestación del distrito como estrategia para recuperar la cobertura forestal perdida durante los incendios.

Aspectos normativos y de regulación:

1. Estudiar la posibilidad de definir límites de emisión más restrictiva durante periodos de influencia de incendios forestales que puedan tener repercusiones importantes sobre la salud de la población.

Aspectos educativos:

1. Difundir más ampliamente las medidas de prevención de incendios forestales definidas de antemano por la Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales y sus entidades adscritas.

8.1.3. Recomendaciones Adicionales

A continuación se mencionan otros aspectos y apreciaciones resultado de los talleres de participación ciudadana.

Las intervenciones de la comunidad en los talleres relacionadas con la revisión de los planes de ordenamiento territorial, denotan una preocupación de la ciudadanía frente a una real articulación de las políticas ambientales y de uso de la tierra en la ciudad. De los talleres de política participativa en relación con el POT se resaltan las siguientes apreciaciones: Respecto a la contaminación por fuentes industriales (en especial para el caso de cementeras, curtiembres, minas de carbón y ladrilleras), se hace un llamado a la revisión de los planes de ordenamiento territorial y a su efectivo cumplimiento para proteger a las familias que actualmente tienen su vivienda permanente junto a zonas de explotación industrial. Los mapas generados en los talleres de participación ciudadana son una herramienta útil en la implementación y fortalecimiento de los controles y el desarrollo de las actividades de control y seguimiento que realiza la SDA.

Considerar las mediciones de la RMCAB al momento de ajustar los usos del suelo en el Plan de Ordenamiento Territorial.

Es importante resaltar las apreciaciones sobre la falta de claridad y exigencias en el POT sobre la necesidad de generar espacios de protección ambiental. Además, según los ciudadanos, el POT no ha contemplado espacios para diferenciar zonas comerciales y residenciales que permitan que estas últimas no se afecten.

El mal uso del suelo es identificado por la ciudadanía como una de las principales problemáticas en materia de emisiones. En varios de los talleres se manifestó conocimiento por parte de los ciudadanos de la prohibición que establecen los POT de agrupar zonas residenciales e industriales en la misma área geográfica. Este aspecto es relevante para las autoridades locales en materia de revisión y socialización del POT para articular el PDDB y las políticas públicas preexistentes.

Como respuesta a la situación descrita anteriormente se plantea hacer las modificaciones pertinentes al POT del distrito para garantizar que se proteja la salud del ciudadano. Asimismo, que se analice la posibilidad de establecer límites de emisión de contaminantes específicos para diferentes zonas de la ciudad, haciéndolos más estrictos en aquellos sitios donde el uso del suelo implique mayor exposición de los ciudadanos a contaminantes atmosféricos.

Intensificar el trabajo coordinado entre las entidades con el fin de reducir la percepción de aislamiento, escasa comunicación y falta de coordinación interinstitucional. Para los ciudadanos es claro que muchos de los problemas dependen de otras esferas públicas como infraestructura vial, educación y salud, y resienten la falta de autonomía y la dificultad para identificar actores responsables.

La comunidad percibe que alrededor del problema de la contaminación del aire existen múltiples problemáticas asociadas entre sí, tales como la carencia de zonas verdes, el deterioro del aseo en zonas residenciales, los olores derivados de los residuos sólidos y del alcantarillado, y malos olores provenientes de ríos y quebradas. Puede que desde un punto de vista técnico varios de esos problemas no estén estrictamente asociados a la contaminación del aire o que entre ellos se confundan las causas y las consecuencias. No obstante, para la comunidad sí revisten importancia en la medida en que inciden negativamente sobre factores importantes con base en los cuales evalúan su calidad de vida.

Otro factor que la ciudadanía percibe como parte de los problemas de contaminación atmosférica tiene que ver con los altos niveles de ruido. Aunque este aspecto no hizo parte de las medidas diseñadas como parte del PDDB, se considera un tema que se debería tener en cuenta de manera complementaria al mismo. En este sentido los mapas generados en los talleres de participación ciudadana, en los cuales se resaltan los problemas de calidad del aire más sentidos en las diferentes localidades, constituyen una herramienta de apoyo para SDA en el trabajo relacionado con los problemas locales de contaminación auditiva.

Muchos de los problemas identificados por los ciudadanos son de carácter local. Es necesario que las acciones correctivas que se emprendan como parte de la gestión pública atiendan los problemas con un enfoque global, pero teniendo en cuenta que en muchos casos el ciudadano los percibe a nivel de micro-escala.

Existe por parte de la ciudadanía una percepción general de corrupción y falta de transparencia en la gestión de las autoridades y sobre la consecuente pérdida de credibilidad y legitimidad de las entidades públicas. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante que la SDA preste especial atención a los procesos de gestión y seguimiento que llevan a cabo las autoridades ambientales de las localidades y que atienda y verifique el llamado acerca de los problemas de corrupción que se mencionan. Todo esto en aras de prestar un mejor servicio y lograr de manera paulatina legitimidad frente a la ciudadanía de las diferentes localidades.

Los ciudadanos son conscientes de que muchos de los problemas de la contaminación del aire no se circunscriben a fuentes ubicadas en la propia localidad. El problema de la contaminación plantea una complejidad particular, pues si bien las fuentes del problema pueden estar geográficamente localizadas, su impacto también es sentido en áreas geográficas distantes. Esta particularidad exacerba el inconformismo ciudadano, lo que a su vez dificulta la acción colectiva necesaria para superar el problema. Lo anterior plantea un desafío clave: el diagnóstico y tratamiento del problema de contaminación debe trascender el enfoque por localidades y debe adoptar una lógica sistémica. Esta transición implica esfuerzos no solo de carácter técnico y educativo, sino también de carácter político.

Existe poco conocimiento entre los ciudadanos acerca de las fuentes de contaminación en espacios interiores (microambientes interiores). En ello hay un desafío educativo apreciable, pues si bien se han adelantado campañas de concientización, en buena medida la solución y el monitoreo de los problemas de contaminación en espacios interiores están en manos de los mismos ciudadanos. Este es un tema en el que la SDA podría trabajar en conjunto con la Secretaría Distrital de Salud.

En el proceso de diseño de las normas es imperativo que la ciudadanía participe para que exista sentido de apropiación y aplicabilidad de esa norma. No hay forma de acercar al ciudadano al ejercicio de lo público si no se hace un esfuerzo ingente por vincular sus intereses, lógicas y lenguaje al proceso de formulación de políticas.

Por las características del problema público de la contaminación del aire, la coordinación interinstitucional es clave para la efectividad de la implementación de la política. Lo anterior plantea el derrotero de dotar al plan decenal con los recursos suficientes para sus diez años y con una estructura organizativa sólida y permanente, que genere el impacto deseado en el largo plazo. Aislar la implementación del plan de los requerimientos de colaboración interinstitucional, flujo de información y coordinación estructural, compromete en buena medida la viabilidad y la efectividad.

Una alternativa que surgió en algunos de los talleres acerca de la evaluación y seguimiento del plan es empoderar a la ciudadanía para que activamente monitoree los resultados y exija rendición de cuentas. Sin estos mecanismos participativos la política corre el riesgo de minar su legitimidad y credibilidad. Asimismo, la participación ciudadana debe ser una estrategia clara y clave para el control de las emisiones por fuentes fijas y móviles. Los ciudadanos pueden convertirse en los mejores fiscalizadores de los asuntos públicos y como tal son aliados estratégicos por excelencia.

Por ejemplo, en los talleres de participación ciudadana los participantes expresaron que las autoridades ambientales de las localidades no le dan relevancia a los problemas ambientales que se tienen. Con el apoyo de la ciudadanía, las autoridades de orden distrital podrían verificar con las autoridades de la localidad su nivel de valoración respecto a los temas ambientales y en caso de que la ciudadanía esté en lo cierto y no le den relevancia, desarrollar mecanismos para que esto cambie positivamente.

8.2. Medidas y recomendaciones relacionadas con fuentes industriales

8.2.1. *Mejoramiento de la calidad de combustibles en las industrias*

a. Tipo de fuente: Fuentes fijas

- b. Descripción:** Actualmente existe un número considerable de industrias que emplean diésel y fuel oil como principal fuente energética en sus procesos. Si bien se ha comentado en otras medidas del plan la importancia de fomentar el cambio a gas natural e incluir sistemas de control de emisiones, es importante reconocer la importancia de implementar medidas complementarias relacionadas con la calidad del combustible que se distribuye en la ciudad.

Una de las variables de calidad que se encuentra más relacionada con las emisiones de material particulado en este tipo de combustibles líquidos es el contenido de azufre. Con el paso de los años las empresas productoras de derivados del petróleo han ido reduciendo el contenido de éste compuesto en el producto final debido, en buena parte, a leyes estrictas que han obligado a la distribución de diésel y *fuel oil* de mejor calidad. La ventaja de mejorar la calidad del combustible radica en el estrecho vínculo que hay entre la mala calidad del fluido y los altos niveles de emisión de material particulado. Al reducir el contenido de azufre en el diésel las emisiones de PM se reducen de manera importante e independientemente de otros cambios en los procesos o en los equipos industriales.

- c. Objetivo:** Hacer esfuerzos por mejorar la calidad de los combustibles empleados actualmente en la industria de la ciudad.

d. Beneficios en exposición personal:

- Al afectar las emisiones de las fuentes fijas que por lo general tienen ductos de escape elevados, el cambio no debe ser detectable para un observador a una altura típica. Sus efectos pueden llegar a ser importantes para algunos operarios industriales y personal de mantenimiento.

- e. Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla MC3.A se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla MC3.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales asociadas a la mejora de los combustibles actuales.	Negativo
	Disminución en los costos de operación y mantenimiento, derivados de la utilización de combustibles de mejor calidad.	Positivo
Social	Aumento en la conciencia ciudadana respecto al uso de combustibles de buena calidad.	Positivo
	Afectación de trabajos informales que dependen de los bajos costos de combustibles de menor calidad.	Negativo

- f. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla MC3.B. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá	– Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Minas y Energía, Unidad de planeación Minero Energética	– Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan la mejora continua de los energéticos empleados en el sector industrial.
Secretaría Distrital de Ambiente	– Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia la industria informal. – Liderar programas de capacitación (en conjunto con el SENA) acerca de las ventajas de combustibles limpios.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

Tabla MC3.C. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
ECOPETROL	– Distribuir combustible de buena calidad

Tabla MC3.D. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	– Exigir a las autoridades y al Distrito el cumplimiento de estándares internacionales en la calidad del combustible.

g. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Política nacional de calidad del aire (MAVDT, 2008) prevé la necesidad de “fortalecer y apoyar la ejecución de los compromisos adquiridos por el sector productor de combustibles en lo referente a la calidad de combustible distribuido en el territorio nacional”.
- Política nacional de calidad del aire (MAVDT, 2008) prevé la necesidad de “establecer mecanismos de seguimiento para verificar el impacto y beneficio de la implementación de las medidas de mejoramiento de la calidad de los combustibles”.

2. Necesidad de cambios regulatorios:

- Revisar los esquemas de implementación de mejoramiento del diésel industrial en el país y la opción de acelerar el proceso. Incluir otros derivados del petróleo.

3. Otros:

- Necesidad de creación de programas de educación como acompañamiento a la medida para los sectores afectados y para la ciudadanía en general.
- Crear programas de educación para los industriales acerca de los beneficios derivados del uso de combustibles limpios.

h. Barreras:

- No parecen existir mecanismos, desde la demanda del servicio, que puedan generar presión a los propietarios de industrias para que empleen combustibles de buena calidad.

8.2.2. Fortalecimiento del programa de seguimiento y control a las industrias

a. Tipo de fuente: Fuentes fijas

- b. Descripción:** El éxito de las políticas de calidad del aire se alcanza al momento de establecer mecanismos concretos que logren una reducción de las emisiones generadas por las fuentes de contaminación. Con esto en mente y considerando la norma de emisiones industriales por parte del MAVDT (Resolución 909 de 2008), es necesario que la autoridad ambiental local fortalezca y mejore su programa de seguimiento de emisiones a las industrias. Si bien la SDA cuenta con una amplia e interesante experiencia en estos temas, es necesario que se continúe con los esfuerzos en esta materia.

A continuación se mencionan algunas estrategias que podrían contribuir al fortalecimiento de los programas de seguimiento y control que actualmente realiza la SDA:

- Optimizar el proceso de control: debido a que los recursos para hacer labores de seguimiento y control son limitados, la SDA debe continuar mejorando los procesos mediante los cuales selecciona la muestra de industrias a las que realiza visitas técnicas. Una herramienta adicional al inventario de emisiones de la ciudad, pueden ser los mapas de las localidades generados en los talleres de política participativa, en los cuales la ciudadanía ubicó fuentes de emisión de contaminantes que considera prioritarias.
 - Una estrategia para mejorar los procesos de seguimiento y control a las fuentes industriales tiene que ver con la existencia de ayudas y manuales para los diferentes actores involucrados. Esto incluye guías para quienes auditan a los consultores que se encargan de las mediciones, guías para los consultores y normas específicas de cómo documentar sus procedimientos, y guías para los industriales que deben someterse a los procesos de seguimiento y control. En particular, la generación de guías o manuales de operación para llevar a cabo las auditorías es una estrategia altamente costo-efectiva. Esto es debido a que un profesional que domine los conceptos básicos de un monitoreo isocinético y que se encuentre familiarizado con los protocolos de campo debe estar en capacidad de detectar muy rápidamente errores en los procesos de muestreo y de reporte de resultados.
- c. Objetivo:** Fortalecer los procesos de control y seguimiento que realiza la SDA a las fuentes fijas en Bogotá con el fin de controlar las emisiones de las mismas y garantizar el cumplimiento de la normativa de orden distrital.
- d. Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla MC4.A se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla MC4.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Disminución en los costos de operación y mantenimiento, derivados de las mejores prácticas que permiten dar cumplimiento a las normas de emisión de la ciudad.	Positivo
	Mejora en la imagen institucional de las industrias puede tener efectos positivos en la productividad de las mismas	Positivo

Social	Aumento en la conciencia ciudadana respecto al uso de combustibles de buena calidad y de tecnologías más eficientes.	Positivo
Político	Mejora en la imagen institucional de la SDA ante la ciudadanía, al verse esta medida reflejada en menores emisiones de las industrias y por lo tanto en mejor calidad de vida. Asimismo una gestión efectiva en el control de las fuentes de emisión puede mejorar la confianza de la ciudadanía en la entidad.	Positivo

- e. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla MC4.B. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar a la SDA en los procesos de control que la entidad realiza. – Exigir a las alcaldías locales que realicen acciones efectivas según los conceptos técnicos de la SDA en cuanto al desempeño ambiental de las industrias.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Minas y Energía, Unidad de planeación Minero Energética	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar mediante actividades de capacitación a los funcionarios de diferentes niveles de la SDA encargados de los proceso de comando y control.
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Buscar apoyo en otras entidades del gobierno ya que las actividades de comando y control afectan diferentes aspectos de la ciudadanía. – Participar junto con otras entidades en la creación de programas de prevención de la contaminación en las industrias. – Buscar apoyo internacional para la optimización de los programas de seguimiento y control, para que utilice procesos según el estado del arte. – Liderar programas de capacitación técnica en conjunto con el SENA para los auditores.
Secretaría de Hacienda	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.
Sector Industrial	<ul style="list-style-type: none"> – Participar en las actividades de capacitación que se planeen.

Tabla MC4.C. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	<ul style="list-style-type: none"> – Exigir a las autoridades y al Distrito el cumplimiento de las normas de emisión. – Actuar como veedores en el cumplimiento de los estándares ambientales de las industrias

f. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Plan Nacional de Desarrollo: En este se establece que se desarrollarán medidas para prevenir la contaminación atmosférica.
- Política Nacional de Producción más limpia: La medida propuesta es consistente con los objetivos de la Política Nacional de Producción más limpia. Hacen parte de los objetivos de esta política: 1) Aumentar la eficiencia energética y utilizar energéticos más limpios; 2) Prevenir y minimizar la generación de cargas

contaminantes; 3) Prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas; 4) Adoptar tecnologías más limpias y prácticas de mejoramiento continuo de la gestión ambiental.

- Resolución 909 de 2008: Normas y estándares de emisión para fuentes fijas.
- Establecimiento de áreas fuente de contaminación en Bogotá: Decreto 174 de 2006, Decreto 417 de 2006.
- Decreto 109 de 2009 por el cual se modifica la estructura de la SDA y se dictan otras disposiciones.

2. Otros:

- Necesidad de creación de programas de capacitación como acompañamiento a la medida para los sectores afectados y para la ciudadanía en general.
- Crear programas de educación para los industriales acerca de los beneficios derivados del cumplimiento de las normas ambientales.

8.2.3. Renovación de sistemas de combustión en la industria

a. Tipo de fuente: Fuentes fijas.

b. Descripción:

Con el fin de contrarrestar el aumento en la emisión de contaminantes derivado del envejecimiento de los componentes del sistema de combustión, es necesario establecer un programa de renovación de estos sistemas en la industria. El programa busca fomentar la renovación de los sistemas de combustión por modelos más recientes que están asociados con un mejor desempeño ambiental.

En el desarrollo del inventario de emisiones de la ciudad, realizado en la fase anterior del proyecto (SDA- SUR, 2009), se encontró para las calderas con capacidad superior a 100 BHP, una diferencia de más del 100% en los factores de emisión, siendo inferiores para las calderas con año de fabricación posterior al año 1997 respecto a las calderas de mayor edad. Para este caso, las fuentes con mayor edad presentaron un aumento medio en la emisión de más del 100% respecto a las fuentes de menor edad, evidenciando así la alta incidencia que tiene esta variable sobre el nivel de emisión generado.

El programa de renovación se enfocaría en las fuentes industriales cuyo año de fabricación del sistema de combustión sea inferior al año 2000. Esto garantizará que para el año en el que se finalice la ejecución del plan de descontaminación (2020) la edad promedio de los equipos de combustión de la ciudad no será superior a 20 años. La elección de este umbral se da considerando que la vida útil promedio de un equipo de combustión es superior a 20 años. Sin embargo es importante recalcar como la correcta operación de los equipos de combustión por parte de los operadores se considera esencial en el programa, esto con el fin de no alterar significativamente la vida útil del equipo. Por esta razón la eficiencia de este programa está sujeta a la adopción de un programa de capacitación para los operadores de los sistemas de combustión en los cuales se resalte el efecto de la operación incorrecta sobre la vida útil del equipo y la importancia de un mantenimiento preventivo sobre los componentes del sistema.

c. Objetivo: Diseñar un programa de renovación de sistemas de combustión para las fuentes industriales.

d. Beneficios en exposición personal:

- El beneficio en exposición personal de esta medida es medio, considerando que la principal razón por la cual los operadores y personal de la industria se ve expuesto son las fugas en los equipos y problemas en la eficiencia en la cámara de combustión. Estos problemas se ven reflejados en la generación excesiva de partículas alrededor de los equipos en el momento de encenderlos y en la emisión continua de contaminantes en los sitios de operación. Con la incorporación de nuevos sistemas de combustión el nivel de exposición de los operadores se vería disminuido significativamente, sin embargo es importante analizar el tamaño de la población sensible a este cambio.
- En lugares donde la fuente de combustión se encuentra cercana al sitio de producción (e.g. tintorerías) la reducción abarcaría un número significativo de personas, sin embargo en la mayoría de casos (e.g. industrias alimentos) la zona de operación de los equipos se encuentra en áreas alejadas de los sitios de

producción por lo que la población sensible a este cambio no representaría un porcentaje significativo en comparación a la población total.

- e. **Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla MC5.A se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla MC5.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la compra de equipos de combustión nuevos.	Negativo
	Disminución en los costos de operación y mantenimiento, derivados de la utilización de equipos más eficientes.	Positivo
Social	Incremento de la conciencia ciudadana sobre la importancia de utilizar equipos ambientalmente amigables que a su vez representan un aumento en productividad.	Positivo
	Afectación del número de operadores requeridos para algunas industrias en donde la renovación de sistemas de combustión se puede asociar con automatización de procesos y por ende disminución en el número de empleados requeridos.	Negativo
	Generación de empleo al potenciar el mercado de fabricación nacional de equipos de combustión de alta tecnología o de la posible importación de estos equipos.	Positivo
	Afectación de trabajadores que dependen del mantenimiento de viejos equipos de combustión.	Negativo

- f. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla MC5.B. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá de Ambiente	– Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y	– Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que garantice la adquisición de los nuevos equipos de combustión.
Ministerio de Relaciones Exteriores	– En conjunto con el MAVDT, liderar el proceso de concertación internacional para garantizar la oferta suficiente de equipos de última tecnología en el país. Se debe además garantizar la presencia de un mercado de oferentes estable que garantice un proceso adecuado de acompañamiento para las personas que adquieran equipos de procedencia extranjera.
Secretaría Distrital de Ambiente	– Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia la industria informal. – Liderar programas de capacitación técnica en conjunto con el SENA acerca de las ventajas del uso de tecnologías más eficientes.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

Tabla MC5.C. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Sector de venta de equipos de combustión nacionales e importados	<ul style="list-style-type: none">– Participar en las diferentes etapas de concertación de la medida.– Garantizar la oferta y distribución de equipos de combustión de alta efectividad.

Tabla MC5.D. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	<ul style="list-style-type: none">– Exigir a las autoridades y al Distrito el cumplimiento de estándares ambientales en los equipos con los que opera la industria.

g. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Resolución 909 de 2008, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de los contaminantes que deberían cumplir las fuentes fijas.

2. Instrumentos financieros disponibles: A continuación se mencionan algunas alternativas que podrían apoyar la financiación de la medida:

- Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas: cofinanciación para desarrollo tecnológico.
- Fonade tiene una línea de financiación de proyectos para fortalecimiento empresarial bajo principios de asistencia técnica e innovación tecnológica, esto incluye implementación de proyectos de reconversión industrial e implementación de nuevas tecnologías.
- Línea de Crédito Ambiental diseñada por el Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales: este es un mecanismo para financiar inversiones que busquen un impacto positivo sobre el medio ambiente así como incrementar el desarrollo sostenible en el país.
- Deducciones tributarias por inversión en control y mejoramiento ambiental: Decreto 3172 de 2003 para deducción de renta y Decreto 2532 de 2002 para IVA.

3. Necesidad de creación de instrumentos financieros:

- La creación de un fondo para renovación tecnológica podría ser evaluada como parte de una estrategia de modernización del sector industrial en la ciudad.

4. Otros:

- Crear programas de educación para los operadores de los equipos de combustión acerca de los beneficios derivados de las buenas prácticas de mantenimiento.
- Se identificó la necesidad de revisar los esquemas de control sobre el mantenimiento que realizan las empresas a los equipos de combustión y el control que se realiza a los operadores de los equipos de combustión.

h. Barreras:

- Inexistencia de mecanismos por parte de la población que puedan generar presión a las industrias que operan con equipos de combustión antiguos.
- Altos costos relacionados con el reemplazo de los equipos de combustión antiguos.

8.2.4. Certificación para operarios de equipos de combustión

a. Tipo de fuente: Fuentes fijas

- b. Descripción:** Al igual que en el caso de los vehículos, la operación de los equipos de combustión (v.g., calderas y hornos) es un factor determinante en las emisiones generadas por los mismos.

Las emisiones provenientes de fuentes fijas dependen de manera importante de la operación de los equipos de combustión como calderas y hornos. De acuerdo a los resultados experimentales de Tanetsakunvatana y Kuprianov (2006) entre otros autores que también han estudiado el tema (v.g., Chui et al. 2010), hay una relación importante entre algunas variables de operación (v.g., mezcla de aire y carga inicial de la caldera) y las emisiones de NO_x y SO₂. Sin embargo, actualmente es común que las personas encargadas de la operación no cuenten con el conocimiento y la práctica necesaria para mantener la operación de los equipos en rangos óptimos que permitan un buen rendimiento sin incrementar de manera innecesaria las emisiones.

Teniendo en cuenta lo anterior, el aseguramiento del buen entrenamiento y capacitación de las personas encargadas de la operación de los equipos de combustión representa una medida de control de emisiones altamente costo-efectiva. Esto se podría lograr a través de la exigencia de certificados que aseguren que los operarios cuentan con el entrenamiento necesario para ejercer sus labores. Dentro de la medida se debe considerar el ofrecimiento de capacitaciones que permitan que los operarios actuales reciban el entrenamiento y certificación necesarios.

- c. Objetivo:** Hacer obligatoria la certificación de los operadores de equipos de combustión para ejercer sus labores.
- d. Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla MC6.A se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla MC6.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la certificación de los operadores de hornos y calderas.	Negativo
	Asignaciones presupuestales para posibles cambios en equipos y procesos actuales.	Negativo
	Aumento en los salarios de empleados derivados de su mayor nivel de experticia.	Negativo
	Disminución en los costos de operación y mantenimiento, derivados de la utilización eficiente de los equipos de combustión.	Positivo
Social	Aumento en los salarios de empleados derivados de su mayor nivel de experticia.	Positivo
	Nuevas oportunidades de empleo de mano de obra calificada.	Positivo

- e. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla MC6.B. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá	– Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados.
Secretaría Distrital de Ambiente	– Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los industriales y operarios.
SENA	– Liderar el proceso de capacitación para operadores de equipos de combustión en las industrias acerca de las buenas prácticas de operación de las calderas y hornos.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

Tabla MC6.C. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Gremios industriales y empresas que hagan uso de equipos de combustión dentro de sus procesos.	<ul style="list-style-type: none"> – Comprometerse a capacitar a sus empleados en los temas propuestos por las autoridades. – Participar en las diferentes etapas de concertación de la medida. – Participar en las actividades de divulgación de la medida propuestas por la autoridad.

Tabla MC6.D. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Operadores de los equipos	– Cumplir con las horas de capacitación necesaria para operar de manera óptima los equipos de combustión.

f. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Resolución 909 de 2008, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de los contaminantes que deberían cumplir las fuentes fijas.
- Conpes 3344 de 2005 “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”, promueve las siguientes acciones: diseño de propuestas para incluir medidas de prevención y control de la contaminación del aire en las políticas y regulaciones de competencia del Ministerio de Transporte y el Ministerio de Minas y Energía.
- Ficha técnica de la Ventanilla Acercar de la Optimización de Operación de las Calderas por la cual se recomienda el tratamiento del agua de alimentación a la caldera.

g. Barreras:

- La presencia de industrias informales podría dificultar la implementación masiva de la medida.

8.2.5. *Recomendaciones adicionales*

Corrección por dilución de gases: la norma de emisiones industriales vigente en la ciudad incluye una serie de factores de corrección para controlar posibles fugas y diluciones que se pueden presentar en las chimeneas. Dichos controles son fundamentales dado que la norma pretende mantener un nivel máximo de emisiones a partir de determinaciones de las concentraciones de las especies de interés en los gases de escape de la chimenea. Sin los controles en referencia, sería posible cumplir con la norma a partir de diluciones en lugar de a partir de controles en las chimeneas.

Sin embargo, es necesario que de forma independiente a las correcciones antes mencionadas existan valores límite para los niveles de dilución que se observan en las fuentes. De este modo, la norma de emisiones no se debe limitar a generar un procedimiento para la corrección de las concentraciones a partir de un eventual exceso de aire en la muestra de gases (por efecto de una dilución) sino también establecer un límite para dicho exceso.

Criterio de altura de chimenea no es suficiente: la consideración de la altura mínima de la chimenea como parte de la norma vigente para fuentes industriales es una medida correcta y apropiada. Sin embargo, este requerimiento no es suficiente para garantizar que no se generen emisiones en alturas bajas que puedan afectar directamente a las personas que viven o trabajan cerca de las fuentes de emisión. De esta forma, como complemento al requerimiento anteriormente referenciado se debe contar con una regulación que controle las emisiones a baja altura asociadas con fugas en los ductos de las chimeneas debido a agujeros, uniones o puertos de muestreo incorrectamente instalados. Sin dichos controles es imposible garantizar que las emisiones se están descargando a las alturas deseadas por la norma.

8.3. Medidas y recomendaciones relacionadas con fuentes vehiculares

8.3.1. *Fomentar buenas prácticas de conducción*

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes móviles.
- b. **Categoría:** Transporte público, privado y de carga.
- c. **Descripción:** Hoy en día los carros son más limpios y eficientes. Las mejoras tecnológicas de los últimos años han resultado en vehículos con niveles de emisión bajos para los distintos contaminantes. Sin embargo, debido a una constante preocupación por los niveles de contaminación atmosférica en centros urbanos y altas tasas de emisión de gases causantes de cambio climático, es fundamental buscar otras formas de reducir las emisiones del parque automotor de la ciudad. Una variable que ha demostrado ser importante en los niveles de emisión de fuentes móviles dentro de la vía es el denominado “patrón de conducción”. Conducir con aceleraciones fuertes y detenciones frecuentes y dramáticas genera mayores emisiones de gases contaminantes en comparación con un patrón menos agresivo.

La promoción de patrones de conducción menos agresivos en la ciudad conlleva a beneficios ambientales al reducir las emisiones y el consumo de combustible, así como al generar una menor tendencia a la degradación de los sistemas de alimentación y quema de combustible de los vehículos.

Varios países de la unión europea han fomentado la educación de los conductores de vehículos particulares por medio de campañas cívicas que permiten reducir no solo las emisiones atmosféricas sino el consumo de combustible. Dentro de la medida encaminada fomentar las buenas prácticas de conducción que impliquen menores demandas energéticas y por consiguiente menores emisiones por distancia recorrida, se encuentran las siguientes recomendaciones:

- Mantenimiento e inspección oportunos. El buen estado del vehículo no sólo implica mejoras en seguridad y desgaste del motor sino que permite niveles de emisiones cercanas a los niveles de diseño.
- Mantener los neumáticos con la presión adecuada. Según la FIA (FIA, 2007) el 20% de la energía necesaria para conducir un carro es utilizada para superar la resistencia de los neumáticos. Usarlos con menos presión que la óptima aumenta ésta resistencia.
- Planificar los viajes. Hacer un solo viaje largo es mejor que hacer muchos cortos. No sólo ahorra tiempo y combustibles sino que el uso del carro con el motor caliente resulta más eficiente que usarlo con el motor frío.
- No calentar el motor antes de ponerse en marcha. Si bien el motor es más eficiente cuando está caliente, éste se debe calentar sobre la marcha avanzando lentamente al principio para evitar que las emisiones se acumulen de manera innecesaria.
- Las aceleraciones deben ser suaves y en la medida de lo posible se debe buscar mantener una velocidad constante.

Estas recomendaciones se pueden divulgar por medio de campañas de educación ciudadana de manera que los conductores particulares las adopten dentro de sus prácticas diarias de conducción. Para el transporte público y de carga se pueden hacer esfuerzos adicionales por dictar una serie de capacitaciones a los operadores del servicio de manera que se obtengan mejores resultados. Una de las ventajas de esta medida radica en lograr reducción de todas las emisiones de los vehículos sin necesidad de invertir en equipos de control de emisiones o renovación de la flota.

d. **Objetivo:** Impulsar campañas que fomenten buenas prácticas de conducción en la flota de vehículos particulares y capacitaciones para operarios de servicio público y transporte de carga.

e. **Beneficios en exposición personal:**

- El beneficio en exposición personal de esta medida es medio. Si bien las reducciones en las emisiones no serán tan significativas como con otras medidas que contemplan el uso de convertidores catalíticos o renovación de la flota vehicular, las reducciones asociadas a una conducción menos agresiva puede tener efectos importantes en la exposición de los peatones.

f. **Impactos sobre otros sectores:** En la Tabla MC7.A se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla MC7.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para las campañas de educación ciudadana y capacitación de operarios de servicio público en la ciudad.	Negativo
	Disminución en los costos de operación y mantenimiento, derivados de mejores prácticas de conducción.	Positivo
Social	Incremento de la conciencia ambiental de los ciudadanos derivado de campañas educativas.	Positivo
	Prácticas de conducción que reducen accidentalidad y comportamientos agresivos en las vías.	Positivo

g. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla MC7.B. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá	– Liderar el proceso de educación ciudadana y capacitación de operarios del servicio público.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	– Apoyar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación que permitan la ejecución de las campañas de educación y capacitación pertinentes.
SENA	– Liderar el proceso de capacitación para conductores, mecánicos y propietarios de los vehículos.
Secretaría de Hacienda	– Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

Tabla MC7.C. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Gremio del sector de transportadores, Transmilenio; empresas propietarias de vehículos	– Participar en la implementación de la medida en la manera propuesta por las autoridades. – Participar en las actividades de divulgación de la medida propuestas por la autoridad.

Tabla MC7.D. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	– Comprometerse a cambiar las prácticas de conducción agresivas o que implican gasto innecesario de combustible. – Enterarse de nuevas prácticas de conducción que reduzcan las emisiones de los vehículos y ayudar en su divulgación.

h. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Plan Maestro de Movilidad adoptado por el Distrito mediante el Decreto 319 del año 2006, propone dentro de los principios: sostenibilidad, reducción de los impactos ambientales y mayor eficiencia.
- Resolución 910 de 2008, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de los contaminantes que deberían cumplir las fuentes móviles terrestres.
- Conpes 3344 de 2005 “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”, promueve las siguientes acciones: diseño de propuestas para incluir medidas de prevención y control de la contaminación del aire en las políticas y regulaciones de competencia del Ministerio de Transporte y el Ministerio de Minas y Energía.

i. Barreras:

- Falta de disposición de la ciudadanía por adoptar nuevas prácticas de conducción.
- Falta de apoyo debido a incredulidad de la efectividad de la medida por parte de autoridades y ciudadanía.
- Las actividades de comando y control para esta medida no son evidentes ni fáciles de implementar.

8.3.2. Optimización operacional de la flota de taxis

a. **Tipo de fuente:** Fuentes Móviles

b. **Categoría:** Transporte Público Individual (TPI) - Taxis

c. **Descripción:** Actualmente la flota de taxis está compuesta por cerca de 52,000 vehículos (equivalentes al 5% del parque automotor de Bogotá), los cuales ocupan el 32% de la red vial para transportar únicamente el 5% de los viajes utilizados. Además, la edad promedio de los taxis no supera los 5 años ya que la dinámica del mercado se encarga de renovar constantemente el parque.

Bajo estas circunstancias, se propone disminuir las emisiones provenientes de la flota de taxis a través de dos estrategias operacionales: la modificación del factor de actividad de los vehículos mediante la implementación de tácticas más eficientes de búsqueda y recolección de pasajeros, y el control sobre el número total de vehículos que debería estar estrictamente supeditado a la demanda de viajes en TPI que tiene la ciudad.

d. **Objetivo:** Disminuir el factor de actividad de la flota de TPI, con la consecuente disminución de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de ellos.

e. **Variaciones:** Las siguientes son las dos estrategias que se proponen y que pueden ser implementadas simultáneamente:

1. Modificación del factor de actividad: Los taxis son los vehículos livianos que más kilómetros recorren anualmente entre aquellos que usan GNV y gasolina, con cerca de 89,000 Km/año por vehículo. Sin embargo, según encuestas adelantadas por el Grupo SUR, los conductores de TPI afirman que cerca del 30% del tiempo de circulación están sin pasajero.

Considerando que el parque automotor de taxis recorre cerca de 12.5 millones de kilómetros al día, existe una posibilidad de estandarizar los métodos de búsqueda y recolección de pasajeros para lograr una reducción de 4 millones de kilómetros, lo cual representaría un descenso proporcional en las emisiones provenientes de esta flota.

Para lograr esta reducción en el factor de actividad es necesario:

- Reactivar el programa de Zonas Amarillas, que a pesar de ser avalado por el Decreto 1253 de 1997 tiene ciertas inconsistencias con el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad, el cual ha interpuesto barreras a la promoción de estas zonas.
- Promover una operación en la que sea prioritaria la búsqueda de pasajeros a través de tecnologías de información (radioteléfono o ubicación satelital) y evitar así los tiempos prolongados de circulación para cumplir este propósito.
- Formalizar los esquemas de contratación de los conductores de TPI para disminuir la recurrencia de turnos de trabajo de más de 12 horas. Actualmente los turnos largos (14 – 16 horas) representan el 70% de la actividad global del parque.

2. Modificación del número de fuentes: Dotar de las suficientes herramientas de seguimiento y control a las autoridades pertinentes para combatir delitos como la expedición ilegal de cupos y de tarjetas de operación, y la utilización de un sólo cupo por parte de dos vehículos distintos (fenómeno conocido como “gemeleo”). Además, se considera necesario definir una metodología clara para modelar la demanda de TPI y de esta forma garantizar la expedición de los cupos que requiera la ciudad.

- f. **Tiempo de implementación:** El tiempo de implementación de esta medida está supeditado a la capacidad de concertación con el gremio, y la realización de estudios que le demuestren a las empresas y los propietarios de vehículos y cupos la viabilidad financiera para de las nuevas condiciones operacionales.
- g. **Impacto en el inventario de emisiones:** La disminución de los tiempos de circulación sin pasajero (evidentes en un factor de actividad 30% menor que el actual) y del número de vehículos prestadores del servicio (considerando que técnicamente es ideal que exista 1 taxi por cada 200 habitantes), podrían reducir las emisiones de todos los contaminantes en un 50%, reducción que en todo caso ha de ser paulatina y consolidada a lo largo del decenio.
- h. **Beneficios en exposición personal:** Teniendo en cuenta que dentro de los contaminantes asociados a la actividad del TPI el PM no juega un papel preponderante, la disminución de sus emisiones pueden no acarrear un beneficio en salud tan importante como el de las medidas propuestas para vehículos operados con ACPM. Sin embargo, es evidente que si se logran implementar estrategias para disminuir los tiempos de circulación sin pasajero, pueden esperarse beneficios para los ciudadanos en términos de exposición personal a contaminantes como los NO_x y los THC_s, principalmente.
- i. **Impactos sobre otros sectores:**

Tabla MC8.A. Impactos sobre otros sectores.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Aumento de la productividad en el sector, a raíz de la disminución de los costos de operación y mantenimiento.	Positivo
	Aumento en las tarifas derivado de la inversión que el gremio debe efectuar en sistemas de telecomunicación.	Negativo
	Creación de oportunidades de negocio, especialmente en el área de servicios, alrededor de la actividad de zonas amarillas.	Positivo
Social	Incomodidad de los trabajadores del gremio, por la estandarización de las estrategias de búsqueda de clientes mediante el uso de TICs	Negativo
	Afectación de trabajadores, propietarios de vehículos y propietarios de cupos por el eventual retiro de vehículos, en el marco de un programa de disminución a la sobreoferta.	Negativo
	El mejoramiento de las herramientas de telecomunicaciones permitiría adicionalmente mejorar la seguridad del gremio, el cual ha sentado su voz de protesta frente al incremento de la inseguridad para su trabajo.	Positivo
Ambientales	Generación de residuos tras la chatarrización de vehículos obsoletos, o de aquellos retirados del parque para disminuir la sobreoferta.	Negativo

- j. **Análisis de costos:** Se esperaría que los costos asociados a la implementación de la medida estén asociados principalmente a las inversiones de infraestructura requeridas para las zonas amarillas y a la adquisición de equipos de telecomunicaciones para hacer más eficientes las actividades de búsqueda de usuarios.

k. Actores:

Tabla MC8.B. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Alcaldía Mayor de Bogotá	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados. – Definir condiciones para el diseño y ejecución de obras de infraestructura necesaria para la operación de bahías y zonas amarillas.
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los propietarios y conductores de los vehículos del servicio de TPI.
Secretaría de Movilidad	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida. – Definir condiciones para el diseño y ejecución de obras de infraestructura necesaria para la operación de bahías y zonas amarillas. – Realizar estudios que permitan identificar los métodos de búsqueda y transporte de usuarios más costo-eficientes, según la zona de la ciudad y la hora del día. – Definir estrategias de comando y control más efectivas para evitar la expedición inapropiada de cupos.
Secretaría de Hacienda	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.
Transmilenio S.A.	<ul style="list-style-type: none"> – Como entidad encargada de la gestión del SITP, identificar oportunidades de integración entre zonas amarillas y los demás modos de transporte articulados al interior del sistema.

Tabla MC8.C. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Gremio de taxistas, propietarios de vehículos, propietarios de cupos.	<ul style="list-style-type: none"> – Validar las propuestas para la disminución del factor de actividad de la flota. – Participar en las diferentes etapas de concertación de la medida. – Asumir compromisos tendientes a evitar y denunciar prácticas como el “gemeleo” y la expedición inapropiada de cupos y licencias.

Tabla MC8.D. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	<ul style="list-style-type: none"> – En caso de que sean definidas <i>Zonas Amarillas</i>, respetarlas y evitar el abordaje de estos vehículos a borde de vía y en lugares no permitidos y que obstaculicen el tráfico. Los ciudadanos deben preferir las herramientas de telecomunicación para encontrar un vehículo, y desestimular la circulación de taxis en búsqueda de pasajero.

I. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida: En el año 1993, con la expedición del Decreto 613, el Distrito intentó controlar el fenómeno de la sobreoferta congelando de forma indefinida el número de cupos para el transporte público individual (TPI) en 36,000, suponiendo una tasa de 1 taxi por cada 200 habitantes para calcular la oferta requerida por la ciudad. Sin embargo, hasta la fecha no parece haberse respetado el veto y la expedición tanto de tarjetas de operación como de cupos ha aumentado.

Por su parte, el Decreto 1253 de 1997 sentó las bases para la implementación de *Zonas Amarillas* en la ciudad que, literalmente, consisten en “un área de la vía pública demarcada para el efecto, donde previa autorización de la Secretaría de Tránsito y Transporte se puedan estacionar taxis en espera de ser demandados sus servicios y donde el público puede acudir para la contratación de éstos”. De esta forma se pueden evitar los tiempos de circulación sin pasajero.

2. Necesidad de cambios regulatorios: Es necesario definir una fórmula para calcular la oferta necesaria de taxis para la ciudad, y de esta forma establecer claramente los límites para número de vehículos y número de cupos.

También sería pertinente regular los esquemas de operación de los taxis e impedir, por ejemplo, la circulación de vehículos vacíos en búsqueda de pasajeros en la vía; en este sentido, solo se permitiría abordarlos en *Zonas Amarillas*, que deben estar ubicadas en lugares estratégicos e integrados de cierta forma con estaciones de transferencia modal del SITP.

- m. **Barreras:** Las prácticas habituales de operación al interior del gremio pueden estar tan arraigadas y depender tanto de la experiencia propia de cada conductor, que puede surgir un inconformismo generalizado frente a la estandarización de los *modus operandi*. Además, el retiro paulatino de aquellos vehículos que representan la sobreoferta de TPI puede generar desempleo y, por ende, fuerte oposición gremial.

También existe una barrera cultural asociada a las prácticas de los usuarios, quienes están habituados a contratar el servicio de TPI directamente en las calles.

- n. **Estrategias de implementación de la medida:** Esta medida comprende varias herramientas que requerirán estudios minuciosos que permitan identificar más claramente su viabilidad. Entre los aspectos que deben tenerse en cuenta en dichos estudios podemos encontrar los que se mencionan a continuación.

1. Aspectos técnicos:

- Cuantificación del número de viajes realizados en TPI discriminados según la estrategia de búsqueda de pasajeros, es decir, el modo de operación (circulación en calle, llamados por radioteléfono, espera en sitios concurridos, etc.). Al mismo tiempo estimar la costo-eficiencia de cada una de dichas estrategias.
- Calcular los ahorros en términos de consumo de combustible, derivados de la modificación de los esquemas de operación.
- Definir la capacidad instalada de los equipos de telecomunicaciones de las empresas que actualmente prestan el servicio de TPI.
- Estimar el número de vehículos que operan ilegalmente, así como la tasa de expedición de cupos y licencias de forma fraudulenta. Esto permitirá levantar un inventario consolidado y confiable de automotores, así como identificar los mecanismos técnicos para evitar el crecimiento de la sobreoferta.
- A pesar de que esta medida contempla únicamente la modificación de los factores de actividad, es necesario estudiar con mayor profundidad los factores de emisión de la flota, así como el deterioro de los mismos a raíz del desgaste del vehículo y de los sistemas de control de emisiones.

2. Aspectos financieros:

- Analizar la viabilidad financiera de los esquemas de operación basados en sistemas de telecomunicación y de definición de zonas amarillas estratégicas.
- Contabilizar los gastos requeridos en materia de infraestructura para articular las zonas amarillas con el entramado operativo del SITP.
- Evaluar la posibilidad de crear un fondo para el mejoramiento de la calidad del servicio, análogo al existente para el transporte público colectivo.

3. Aspectos normativos y de regulación:

- Concertar con los gremios y las autoridades la expedición de normativa más estricta y específica en torno a la operación de taxis y al número máximo de vehículos permitidos en la ciudad.

8.3.3. Recomendaciones adicionales

Contenido de azufre en la gasolina: Según un estudio desarrollado recientemente en la ciudad (SDA-SUR, 2009) el contenido de azufre en la gasolina cumple con los estándares nacionales (900 ppm S, Resolución 1180 de 2006). Sin embargo, este se encuentra alejado de los estándares internacionales. Altos contenidos de azufre en la gasolina pueden limitar el funcionamiento de los catalizadores de tres vías, lo que además se refleja en un menor tiempo de vida útil de estos dispositivos. Los estándares internacionales son más restrictivos, por ejemplo, los límites de EPA Tier II, establecen un contenido promedio de 30 ppm de azufre en la gasolina a partir del año 2006, dando respuesta a la evidencia científica que soporta un mejor funcionamiento de los convertidores catalíticos con menores contenidos de azufre en la gasolina (MECA, 1998). Hacer más estricta la norma nacional en cuanto al contenido de azufre en la gasolina traería consigo la reducción de emisiones vehiculares de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno.

Contenido de azufre en el ACPM: Actualmente la ciudad cuenta con un ACPM con un contenido de azufre de 50 ppm. Una de las mayores ventajas de este contenido de azufre es la posibilidad de instalación de tecnologías de control de emisiones (v.g., filtro de partículas). Sin embargo, la tendencia internacional es llegar a un contenido de azufre de 15 ppm en el ACPM (ULSD, por sus siglas en inglés), ya que éste permitiría la implementación de sistemas de control aún más efectivos en la reducción de las emisiones de material particulado.

Pavimentación de las vías: Estudios previos han documentado que vías en mal estado pueden contribuir significativamente a empeorar los problemas de contaminación del aire, no solo porque existe una relación directa con la movilidad, y por consiguiente un aumento en los factores de emisión a causa de malos patrones de conducción y disminución de la velocidad media, sino también porque vías en condiciones de recebo y tierra promueven el aumento de las concentraciones de material particulado resuspendido. La pavimentación y la mejora de las vías debe ser una prioridad para las autoridades distritales como parte de sus políticas encaminadas a mejorar la calidad del aire de la ciudad.

Centro de medición de emisiones a partir de pruebas dinámicas: Una prueba de emisiones vehiculares de tipo estática y sin someter al vehículo a una carga real (tal y como es la ensayo utilizado hoy día en Colombia para la expedición de los certificados de emisiones de gases), no es un buen referente del desempeño ambiental del mismo. Es necesario utilizar metodologías más sofisticadas y confiables que permitan determinar los factores de emisión de los contaminantes (expresados en masa de contaminación producida por unidad de distancia recorrida). En este sentido, las autoridades distritales podrían iniciar las gestiones e inversiones que sean del caso para poner en funcionamiento un laboratorio de emisiones vehiculares que se ajuste a los requerimientos internacionales para este tipo de instalaciones.

Mejoramiento de los centros de diagnóstico: Es necesario fortalecer los mecanismos para garantizar la calidad de los procedimientos y de la información de emisiones que es generada en los centros de diagnóstico. De esta forma, resulta ser más conveniente contar con un menor número de centros de diagnóstico a los que se les puedan exigir mayores estándares de calidad y que al mismo tiempo sean más fáciles de auditar por parte de la autoridad ambiental. Igualmente, se debe pensar en que la información generada en estos establecimientos sea enviada de forma directa a las autoridades ambientales utilizando sistemas de información y comunicación que eviten el fraude en dichos procedimientos.

Mejoramiento de la norma de emisiones vehiculares: Si bien es cierto que el nivel de opacidad es una métrica que se ha utilizado en diversos países como una primera estimación de las emisiones de un vehículo diésel, dicha estimación no puede ser

considerada como una medida permanente en reemplazo de mediciones reales de emisiones de material particulado. Esto significa que es necesario contar con una norma distrital de emisiones más avanzada y que corresponda de mejor manera al conocimiento que la capital del país tiene en materia ambiental. Para el caso de vehículos provistos con motores diésel, dicha norma debe hacer referencia al factor de emisión (expresado en gramos de contaminante producido por unidad de distancia recorrida) en lugar de al nivel de opacidad.

Gas natural vehicular: El uso de vehículos de gasolina que han sido sometidos al proceso de conversión que les permite operar como vehículos híbridos (gasolina – gas natural) no es una medida que conlleve a beneficios de tipo ambiental en términos de una reducción de emisiones de contaminantes criterio. Lo anterior significa que a no ser que se haga referencia explícita a vehículos equipados con motores “dedicados” a gas (e.d., diseñados para ser alimentados con dicho combustible y que por lo mismo no requieren ser objeto de ningún proceso de reconversión tecnológica), el uso masivo del GNV no debe ser promovido como parte de las políticas de mejoramiento de la calidad del aire urbano en Bogotá.

8.4. Otras medidas complementarias

8.4.1. *Automatización de los reportes de información: toma de datos en operativos de control a fuentes fijas y móviles.*

a. Tipo de fuente: Fuentes fijas y móviles.

b. Descripción: Actualmente el registro de la toma de datos de los operativos de control que se realizan para fuentes fijas y móviles se hace de manera manual. Esta práctica facilita que se cometan errores al pasar la información de un formato a otro y asimismo facilita la pérdida de documentos con información de muestreos isocinéticos. A pesar de diversos esfuerzos adelantados por la SDA en este sentido, en la actualidad no se cuenta con una herramienta automática de reporte de resultados de emisiones en chimenea ni con una base de datos estructurada en la que se almacene dicha información. Estos dos componentes son una necesidad primaria si se desea que la información en referencia sea confiable y se encuentre disponible para la toma de decisiones.

Por otra parte, es claro que la ciudad, y el país, deben dar un paso hacia adelante en lo que tiene que ver con el registro y control de los resultados de emisiones vehiculares. Es necesario fortalecer los mecanismos para garantizar la calidad de los procedimientos y de la información de emisiones que se genera en los centros de diagnóstico y en los operativos en vía de manera que las medidas puedan tener los resultados esperados.

Para resolver esta situación se debe contar con formatos pre-establecidos y estandarizados que puedan ser utilizados para el reporte de la información recolectada en campo así como una serie de rutinas computacionales que usen dichos reportes para la generación de archivos que sean automáticamente cargados en una base de datos única en la que se almacene toda la información de fuentes fijas. En cuanto a las fuentes móviles, tal y como fue mencionado anteriormente, se debe pensar en que la información generada en los centros de diagnóstico sea enviada de forma directa a las autoridades ambientales utilizando sistemas de información y comunicación que eviten el fraude en el proceso.

c. Objetivo: Implementar un sistema automatizado de toma de datos en centros de diagnóstico de fuentes móviles y de los operativos de control en las fuentes fijas.

d. Impactos sobre otros sectores: En la Tabla MC9.A se presentan los impactos de la medida en otros sectores diferentes al de la calidad del aire.

Tabla MC9.A. Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
Económico	Asignaciones presupuestales para la compra de los equipos y sistemas operativos necesarios.	Negativo
	Ahorro en tiempo con la automatización del registro de los datos.	Positivo
Social	Aumento en la confianza de los resultados reportados por la SDA y otras entidades oficiales.	Positivo
	Mejora en el desempeño del transporte público y privado al tener mejores controles sobre los resultados de la revisión técnico-mecánica y de gases.	Positivo

- e. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que éstos podrían cumplir en la implementación de la medida.

Tabla MC9.B. Actores del sector público.

Entidad	Roles
Secretaría Distrital de Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> – Liderar el proceso de búsqueda de fuentes de financiación de la medida. – Buscar asesoría del sector privado en cuanto a los sistemas operativos óptimos y equipos necesarios para ejecutar la medida.
Secretaría de Movilidad	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso del cambio en los procedimientos en la toma de datos de la revisión técnico-mecánica y de gases.
Secretaría de Hacienda	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso del cambio en los procedimientos en la toma de datos de fuentes fijas y móviles
Ministerio de Transporte	<ul style="list-style-type: none"> – Apoyar el proceso del cambio en los procedimientos en la toma de datos de la revisión técnico-mecánica y de gases.

Tabla MC9.C. Actores del sector privado.

Entidad	Roles
Centros de diagnóstico de fuentes móviles.	<ul style="list-style-type: none"> – Ajustar sus procesos y equipos a la toma de datos automatizada que se implemente en caso de ser necesario
Contratistas de muestreos isocinéticos	<ul style="list-style-type: none"> – Ajustar sus procesos y equipos a la toma de datos automatizada que se implemente en caso de ser necesario

f. Instrumentos y herramientas de apoyo para la medida:

1. Normas y políticas existentes que apoyen la medida:

- Plan Maestro de Movilidad adoptado por el Distrito mediante el Decreto 319 del año 2006, propone dentro de los principios: sostenibilidad, reducción de los impactos ambientales y mayor eficiencia.
- Ley 769 de 2002 que establece que para que un vehículo pueda transitar por el territorio nacional debe garantizar como mínimo el perfecto funcionamiento del sistema de escape de gases y cumplir con las normas de emisión de gases que establezcan las autoridades ambientales.
- Resolución 3500 de 2005 que tiene por objeto establecer las condiciones mínimas que deben cumplir los Centros de Diagnóstico Automotor y fijar los criterios y el procedimiento para realizar las revisiones técnico-mecánica y de gases de los vehículos automotores que transiten por el territorio nacional, con el fin de garantizar la seguridad vial y la protección del ambiente, en condiciones de confiabilidad, calidad y la tecnología adecuada con los sistemas de información.
- Resolución 391 de 2001 que fija las normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire, aplicables al perímetro urbano de Bogotá.

2. Necesidad de cambios regulatorios:

- Se identificó la necesidad de revisar el método de ensayo descrito en el capítulo V (de la revisión de gases) establecido por la Resolución 3500 de 2005.

- Se identificó la necesidad de revisar la Resolución 1208 de 2003 y el protocolo para el monitoreo de emisiones atmosféricas de la Secretaría Distrital de Ambiente de manera que contemplen nuevos procesos automatizados.

3. Otros:

- Crear capacidad técnica en los centros de diagnóstico y empresas contratistas para que operen de manera adecuada los equipos y sistemas correspondientes a la medida.

g. Barreras:

- Falta de disposición y/o de capacidad de centros de diagnóstico y contratistas a adaptarse a los nuevos procedimientos.
- Dificultad en el control que realice la autoridad en cuanto a la manipulación de los equipos.

8.4.2. Otras consideraciones

Control de quemas: Según información que reposa en los registros de la SDA, la quema de llantas y de madera en la ciudad es una práctica que contribuye a la contaminación del aire. Se estimó que la contribución de esta actividad puede llegar a ser de alrededor del 5% de las emisiones totales de PM de la ciudad, cifra equivalente al 10% de las emisiones provenientes de las fuentes industriales. Las emisiones producidas por esta actividad se hacen más críticas en términos de exposición personal, no solo para la población que se dedica a esta actividad productiva, sino también para otras personas que habiten cerca de los lugares en los que se llevan a cabo las quemas. De esta forma, es necesario generar medidas integrales que permitan reducir los niveles de contaminación generados por actividades que como ésta hacen parte de las actividades informales de la ciudad.

Efecto de municipios aledaños: Según los registros de calidad del aire de la CAR (CAR, 2004) para las estaciones de monitoreo ubicadas en los municipios más cercanos a Bogotá (Cota, Soacha, Sibaté, Mosquera, La Calera, Cajicá, Funza, Mochuelo y Sopó), los promedios de concentración de PM₁₀ registrados en el año 2008 no excedieron la norma de calidad del aire nacional. No obstante, es posible evidenciar en algunas estaciones (Mosquera y Soacha) valores máximos registrados que se encuentran cercanos a la norma de corta duración y que pueden ser una alarma para prevenir futuras excedencias. Según esta información, la calidad del aire de zonas cercanas a Bogotá no es un factor crítico, sin embargo, teniendo en cuenta la cantidad y la magnitud de las actividades industriales que se desarrollan en dichas zonas (CAR, 2009), se considera necesario continuar con las propuestas de control de la contaminación del aire en la región, con el fin de prevenir problemas de contaminación que además puedan contribuir a la contaminación del aire en Bogotá.

Red de monitoreo de la calidad del aire de Bogotá: La red de monitoreo es la herramienta más importante con la que cuenta la ciudad para el estudio y el entendimiento de su problema de contaminación del aire. Asimismo, constituye la principal herramienta para hacer seguimiento al plan de descontaminación. Por esta razón, es fundamental continuar con su proceso de fortalecimiento, siendo esencial que se conserve y mejore la infraestructura de la red. La relocalización de estaciones rompe la continuidad de las mediciones y hace difícil la comparación de los resultados en el tiempo. El actual cubrimiento de la red es apropiado desde un punto de vista geográfico de tal forma que es mucho más prioritaria la modernización de equipos y la complementación de parámetros en las estaciones actuales que la expansión de la red.

9. PROGRAMAS DE LA SDA QUE SON FUNDAMENTALES COMO COMPLEMENTO AL PLAN DECENAL DE DESCONTAMINACIÓN

En esta parte del documento se presenta una discusión en relación con varios de los programas más importantes que ha implementado la SDA durante los últimos años en su búsqueda de mejorar la calidad del aire de la ciudad. Dicha discusión pretende ser el punto de partida para que la autoridad ambiental tome decisiones a propósito de la continuidad de dichos programas o acerca de las necesidades de fortalecimiento para los mismos.

9.1. Pico y Placa Ambiental

Este programa (enmarcado en los decretos 174 de 2006 y 325 de 2006) consiste en una restricción a la circulación de los vehículos que no se hayan sometido al esquema de autorregulación. La medida se aplica en las zonas de la ciudad declaradas como áreas de alta contaminación y se ejerce sobre los vehículos de transporte público colectivo y de carga: **1)** para el transporte público colectivo aplica una restricción adicional de circulación en la ciudad de Bogotá, entre las 6:00 a.m. y las 10:00 a.m., de lunes a sábado, de acuerdo con el último dígito de la placa, un dígito por día; **2)** para el transporte público de carga una hora adicional a la restricción actual de los vehículos de transporte de carga de más de cinco toneladas (no deben circular de lunes a viernes entre las 9:00 a.m. y las 10:00 a.m.).

Desarrollo y Seguimiento del Programa

Rincón (2007) realizó un análisis de la efectividad de la medida del pico y placa ambiental en términos de disminución en la circulación de buses, reducción de emisiones, y disminución en la concentración de PM₁₀ en las estaciones de la zona. Las conclusiones del estudio apuntan a una mejora de estos indicadores para el periodo 2005 – 2006 durante el horario de aplicación de la medida.

En el año 2007 se impartieron 1,325 comparendo a infractores (SDA, 2008). En ese mismo año la cobertura del programa de autorregulación era 99% para vehículos de transporte público y 7% para vehículos de carga pesada. En el 2008 la cobertura se mantiene para vehículo de carga mientras que en vehículos de transporte público cayó al 24%. Estos registros ofrecen una idea del impacto de la medida en términos de sanciones. Sin embargo existen algunas inconsistencias en la información oficial sobre este tema que dificultan el desarrollo de un análisis más riguroso.

Concepto sobre la Medida

El pico y placa ambiental es una de las medidas más exitosas y mejor diseñadas por parte de la autoridad ambiental distrital en la historia reciente de la ciudad. Este se debe a que dicha medida hace referencia a uno de los sectores con mayores aportes a la contaminación del aire (transporte público y de carga que operan mayoritariamente con combustible diésel) reconociendo además la importancia del contexto meteorológico y de condiciones de dispersión en la atmósfera al darse su aplicación en las horas de mayor estabilidad dado el denominado fenómeno de inversión térmica.

Esta medida debería mantenerse mejorando sus indicadores de seguimiento y aunando esfuerzos para ampliar la cobertura del esquema de autorregulación.

9.2. Pico y Placa de Movilidad

Esta medida (enmarcada en los decretos 626/1998, 1098/2000, 07/2002, 212/2003, 180/2004, 198/2004, 033/2009) restringe la circulación de vehículos particulares, de lunes a viernes, entre las 6:00 horas y las 20:00 horas, de acuerdo con su número de placa. La norma exceptúa ciertos tipos de vehículos tales como los asociados con el transporte público, vehículos acondicionados para ser conducidos por discapacitados, vehículos de emergencia, vehículos militares y de policía nacional, vehículos destinados a la prestación del servicio de escoltas, carrozas fúnebres, y motocicletas.

Desarrollo y Seguimiento del Programa

La medida de Pico y Placa se enfoca principalmente en la mejora de la movilidad en la ciudad. El factor ambiental se considera como uno de los co-beneficios derivados de la misma a través de la reducción en el consumo de combustibles, especialmente gasolina, con la consecuente disminución en las emisiones de gases efecto invernadero, monóxido de carbono y sustancias precursoras de ozono.

Lo anterior significa que si bien la restricción vehicular no se encuentra asociada con disminuciones significativas en las emisiones de material particulado (el contaminante de mayor interés para la ciudad y su plan de descontaminación), la implementación de la misma puede verse asociada con efectos positivos a nivel ambiental.

Concepto sobre la Medida

La restricción vehicular en Bogotá es una medida necesaria para la coyuntura actual de la ciudad dado el incremento observado en las tasas de motorización y el nivel de desarrollo de infraestructura vial. En estos momentos no sería viable considerar el levantamiento de este programa aunque no debe olvidarse que desde sus inicios fue considerado como una estrategia temporal. El mayor desafío en este tema es que la restricción puede verse reflejada en un incremento en la tasa de tenencia de vehículos así como en la utilización de vehículos antiguos. De esta forma, se recomienda que las muy necesarias políticas de desincentivo de utilización del vehículo particular sean afrontadas bajo una perspectiva integral y no solo a través de medidas restrictivas.

9.3. Mejoramiento del ACPM

El programa se inició en el marco del “Pacto por una mejor calidad del aire para Bogotá” firmado en el 2008 entre la Alcaldía de Bogotá, el MAVDT y Ecopetrol así como una consecuencia de la entrada en vigencia de la Ley 1205 de 2008.

A través de esta estrategia se ha determinado una reducción gradual del contenido de azufre en el combustible diesel que hace que en la actualidad la ciudad cuente con un ACPM de calidad internacional en el que su contenido de azufre es inferior a 50 ppm.

Desarrollo y Seguimiento del Programa

La SDA ha contratado estudios de monitoreo de calidad de combustibles en estaciones de servicio y ha solicitado a Ecopetrol los resultados de sus propias pruebas en relación con el cumplimiento del límite máximo de contenido de azufre. A través de dicho seguimiento se ha logrado verificar a ciencia cierta que los compromisos adquiridos se han cumplido a cabalidad en la ciudad de Bogotá.

Concepto sobre la Medida

El mejoramiento en la calidad de combustibles es una de las medidas más importantes que se han llevado a cabo a nivel ambiental en Colombia. Los resultados en términos de mejoramiento de calidad del aire en la ciudad son evidentes y pueden encontrarse en los registros de la red de monitoreo que opera la SDA en donde se observa que a partir del año 2008 se detuvo la tendencia al alza que caracterizaba a las concentraciones atmosféricas de material particulado.

Este efecto se evidencia en la Figura 11, en donde se presenta la media móvil de PM_{10} en la estación de Puente Aranda para los años 2006 al 2008. Para los tres años se observa que en los primeros meses del año los niveles de PM_{10} tienden a reducirse, mientras que en los últimos meses del año la tendencia de este contaminante es al alza. Este comportamiento se atribuye a las condiciones meteorológicas de la ciudad. Sin embargo, en el segundo semestre del año 2008, a partir del momento en que se empezó a distribuir un diésel de mejor calidad se evidencian menores niveles de PM_{10} en comparación con los dos años anteriores. Asimismo, se evidencia que para el año 2008 la tendencia al alza en los meses de septiembre a diciembre es menor, probablemente como consecuencia de la mejora continua que tuvo el ACPM durante estos meses.

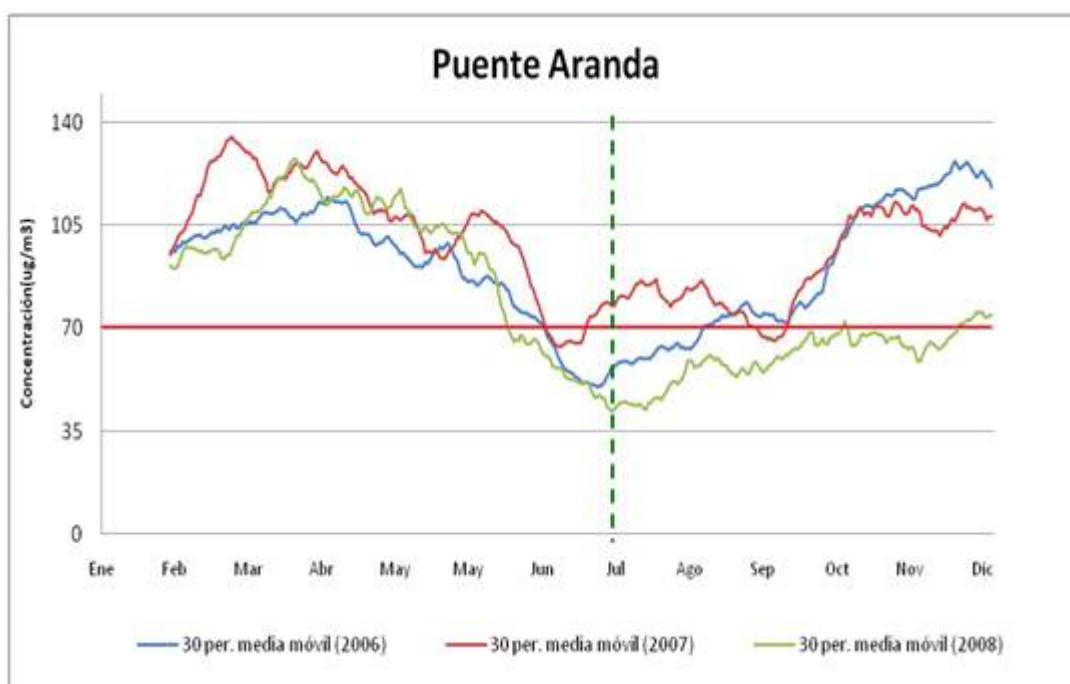


Figura 11. Impacto de la mejora de la calidad del diésel en la calidad del aire.

Adicionalmente, al contar con combustibles de mejor calidad se abre la puerta para la entrada en vigencia de programas de equipamiento de sistemas de control de emisiones para los vehículos de carga pesada en la ciudad (incluyendo buses y busetas del sistema de transporte colectivo), tal y como los que se describen en el cuerpo principal de este informe.

En el corto plazo se recomienda continuar con las verificaciones del cumplimiento en los límites establecidos así como permanecer vigilantes de los efectos de la entrada de vehículos que son abastecidos de combustible fuera de los límites de la ciudad, es decir con un combustible de menor calidad. En el mediano y largo plazo se debería considerar ejercer presiones adicionales para lograr que el contenido de azufre sea reducido a 15 ppm.

9.4. Operativos en Vía

Los operativos en vía tienen como objetivo verificar el estado ambiental de los vehículos automotores frente a los lineamientos de la norma de emisiones vigente (Resolución 910 de 2008 y resolución 556 de 2003). Estos operativos se realizan de lunes a sábado en diferentes puntos de la ciudad con la participación de la SDA, la Secretaría de Movilidad y la Policía Metropolitana (SDA, 2008). Se incluyen vehículos privados, de carga, de transporte público y motocicletas, enfocándose en los vehículos de mayor potencial de contaminación como lo son vehículos antiguos o visiblemente contaminantes.

Desarrollo y Seguimiento del Programa

Según los indicadores de seguimiento que se encuentran disponibles para esta medida (Bravo, 2008, SDA, 2009), el número de vehículos revisados en los operativos en vía ha aumentado con el tiempo. Lo mismo es cierto para el porcentaje de vehículos que han aprobado la prueba de gases correspondiente (ver figura que se muestra a continuación).

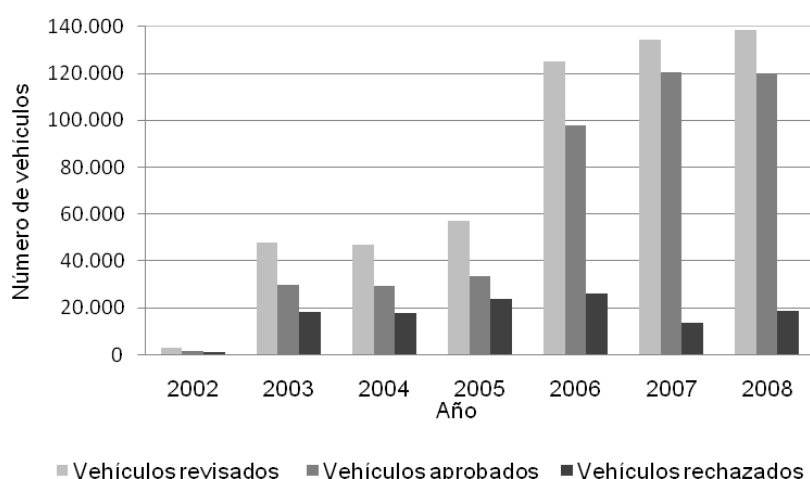


Figura 12. Operativos en vía.

Concepto sobre la Medida

Los resultados antes descritos demuestran la bondad de la medida en referencia no sólo en lo que tiene que ver con el cada vez más eficiente control en relación con la misma sino en la forma en que ha motivado un mejor mantenimiento y cuidado de los vehículos por parte de sus usuarios.

Esto es cierto a pesar de las limitaciones técnicas de la metodología utilizada en donde los equipos y protocolos no permiten entender a ciencia cierta las dinámicas de generación de contaminantes en una fuente móvil ni son útiles al momento de generar el inventario de emisiones de las mismas. Esto se debe a la naturaleza estática y libre de carga de las pruebas en donde no solo no se pueden evaluar la totalidad de los contaminantes de interés para estos casos sino que no se realizan las mediciones en condiciones de operación que sean representativas del ciclo de conducción real de un vehículo.

No obstante lo anterior se recomienda continuar con la medida en cuestión dado que es clara su incidencia en el comportamiento de la población en lo que se refiere a costumbres de mantenimiento de los vehículos, una de las variables más importantes al momento de determinar las emisiones producidas por las fuentes móviles. Asimismo, la medida de operativos en vía permita dar visibilidad a la autoridad ambiental mejorando así su

capacidad general de comando y control así como la percepción que la ciudadanía tiene frente a su actuar.

9.5. Control a Fuentes Industriales

La SDA realiza seguimiento a las empresas que generan emisiones en la ciudad. Este seguimiento queda registrado en el expediente de la empresa donde además se consigna la información relacionada con vertimientos, manejo y disposición de residuos, según los conceptos técnicos, jurídicos y las comunicaciones que haya realizado la SDA en cada caso.

Como complemento a la gestión de seguimiento empresarial, la SDA realiza auditoría a los análisis isocinéticos, así como a los equipos y las empresas que prestan sus servicios para muestreos de fuentes fijas, con el fin de garantizar que los análisis a las fuentes fijas se realizan de manera apropiada.

Desarrollo y Seguimiento del Programa

Actualmente hay 1,958 empresas registradas en la SDA de las cuales se considera que 1,024 (52% del total) generan emisiones de bajo impacto. Por lo tanto, la gestión de la SDA se concentra en las 934 empresas restantes. Estas últimas hacen parte de las siguientes categorías (definidas por la SDA): agroalimentario, textiles, químico y farmacéutico, minería, maderas, fundición y quemas a cielo abierto.

El grupo de fuentes fijas de la SDA ha sido objeto de un proceso de maduración y crecimiento en las dimensiones de capacidad operativa y conocimiento técnico así como en lo que tiene que ver con los protocolos utilizados para sus auditorías y acompañamientos.

Concepto sobre la Medida

Todo esfuerzo encaminado al mejoramiento y fortalecimiento del comando y control de la entidad será positivo y altamente estratégico para la implementación del plan decenal de descontaminación del aire. En este sentido se recomienda continuar con este programa, teniendo especial cuidado en los procesos de auditoría a los consultores encargados de los monitoreos a fuentes fijas así como en el acompañamiento al sector industrial objeto de los mismos.

En este sentido se podría hacer una gran campaña de concientización y educación a los empresarios para que ellos mismos conozcan algunos detalles del proceso de medición de tal forma que puedan exigir una mayor calidad en los servicios prestados por los consultores. En este mismo orden de ideas se recomienda hacer el esfuerzo que sea necesario para automatizar el envío de la información relacionada con los ensayos isocinéticos así como el manejo estadístico de tal información al interior de la SDA. De esta forma se tendrá un mejor acceso a los datos para la toma de decisiones y se permitirán mejores procesos de control para los encargados de las mediciones.

10. BENEFICIOS EN SALUD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN

En la Figura 13 se presentan los niveles de material particulado que se tendrían durante el periodo de análisis (2010-2020) en el escenario tendencial en comparación con los niveles que se tendrían en el escenario con plan de descontaminación. Los beneficios del plan de descontaminación en términos de salud se hallaron mediante la comparación de los efectos que se tendrían en estos dos escenarios.

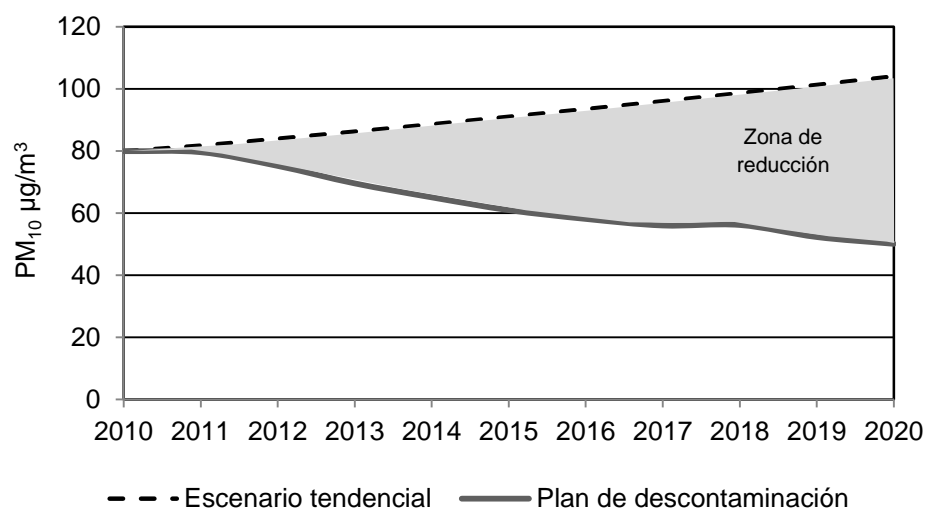


Figura 13. Concentración de PM 2010-2020 (valorada por la metodología PCA) en el escenario tendencial en comparación con el escenario con plan de descontaminación.

En la Tabla 6 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 6. Comparación en el número casos entre el escenario tendencial y el escenario con plan de descontaminación para el periodo 2010-2020.

Efecto	Edad	Número de casos- Carga de enfermedad escenario tendencial 2010-2020 (IC 95%) ¹	Casos evitados con el plan 2010-2020 (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 (Enfermedad Respiratoria 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)

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

Según estos resultados la población infantil (menores de 5 años) recibe beneficios muy importantes en salud por la reducción de los niveles de PM₁₀ en la ciudad. Cerca del 72% de los casos evitados en hospitalización corresponde a niños menores de 5 años. La reducción propuesta por el plan de descontaminación representaría una reducción cercana a las 27,500 hospitalizaciones por causas respiratorias en niños, 74,200 atenciones en salas ERA y alrededor de 5,500 casos evitados en Unidades de Cuidados Intensivos. Adicionalmente, 1,500 casos potencialmente evitables de mortalidad en niños.

En adultos (población mayor a 30 años de edad), los beneficios de la implementación del plan representan alrededor de 13,700 muertes evitadas, más de 41,900 casos de atención en urgencias evitados y alrededor de 10,900 casos evitados en admisiones hospitalarias por causas respiratorias.

Estos efectos evitados equivalen a un ahorro en más de 107,000 millones de pesos en costos asociados al tratamiento de enfermedades. De este valor, los costos relacionados con el tratamiento de enfermedades en niños representan más del 70% de los costos.

La pérdida de productividad asociada a los días de actividad restringida presenta una estrecha relación con la pérdida de competitividad de la ciudad. El costo evitado asociado con la pérdida de productividad se estimó en aproximadamente 88,000 millones de pesos. Más del 50% de este costo se debe a los días laborales perdidos por la población trabajadora cuando deben quedarse al cuidado de un niño enfermo por causas relacionadas con la contaminación del aire. La disponibilidad a pagar por la reducción en los efectos en morbilidad podría alcanzar los 471,000 millones de pesos.

El mayor valor de la disponibilidad a pagar corresponde a la valoración de la vida. Esto se ve reflejado en que los beneficios por mortalidad evitada representan un alto componente de los costos totales. En la Tabla 7 se presenta un resumen de los beneficios que se espera obtener en la salud de la población con la implementación del plan de descontaminación. Se presentan diferenciados los valores para morbilidad y mortalidad.

Tabla 7. Resumen de beneficios económicos por la reducción de material particulado esperada con la implementación del plan de descontaminación.

Efecto	Beneficio económico ¹ (IC 95%) ²
Morbilidad ³	472,000 (108,000-615,000)
Mortalidad	15,353,000 (5,290,000-27,079,000)
Total	15,825,000 (5,398,000-27,649,000)

¹Costo en millones de pesos del año 2009. ²Los valores del rango representan el intervalo de confianza del costo, este se estimó a partir de los intervalos de confianza de los RR correspondientes. ³El valor corresponde a la valoración mediante disponibilidad a pagar (DAP). Para la evaluación de atención en salas ERA y atención en unidad de cuidados intensivos se usó costos de enfermedad (COI).

Los casos evitados en mortalidad son el mayor componente del costo evitado con la aplicación del plan de descontaminación por beneficios en términos de salud de la población. Esto refleja la importancia de considerar el valor de la vida humana en la toma de decisiones en políticas públicas.

Los costos evitados en morbilidad se estiman en 472,000 millones de pesos aproximadamente, mientras que los costos evitados en mortalidad son superiores a 15 billones de pesos. El beneficio económico por mejoras en la salud derivado de la implementación del plan se estima en 15.8 billones de pesos.

Los resultados obtenidos muestran un alto impacto derivado de la implementación del plan de descontaminación, no solo en términos económicos sino en términos de salud pública, y constituyen una razón de peso para priorizar la inversión en el control de la contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá.

Para complementar el análisis costo beneficio se realizó la evaluación de escenarios de valoración usando diferentes tasas de descuento. El valor presente y la relación beneficio/costo de los escenarios evaluados se consignan en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis beneficio/costo usando diferentes tasas de descuento (millones de pesos de 2009).

Resumen de evaluación	TD0	TD1	TD2	TD3
Tasa de descuento *	0%	3%	variable	12%
Beneficios en salud (VPN)**	15,800,000	15,950,000	15,000,000	8,000,000
Costos de implementación (VPN)**	1,700,000	1,750,000	1,600,000	950,000
Relación B/C	9.3	9.1	9.4	8.4

En el análisis de los cuatro escenarios se utilizó la misma tasa de descuento para determinar el valor presente neto de los costos y de los beneficios. **Valor presente neto en millones de pesos (precios constantes de 2009). TD0: Escenario de valoración sin tasa de descuento. TD1: Tasa de descuento de 3.0% acorde a lo sugerido por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2002) y en conformidad a lo usado por Larsen (2004). TD2: Tasa de descuento variable y decreciente en el tiempo (4.38 – 3.49 para un periodo de 10 años) acorde a Saavedra (2009). TD3: Tasa de descuento del 12% el valor coincide con el utilizado por el Departamento de Planeación Nacional para proyectos de inversión social (Correa, 2008) y es el mismo utilizado en la evaluación del plan de descontaminación de Santiago de Chile (Sánchez, 1998) y Ciudad de México (World Bank, 2002).

De la Tabla 8 se destaca que en todos los escenarios contemplados se presenta una relación beneficio/costo significativa.

Adicionalmente, vale la pena mencionar que debido a las características de los beneficios en salud, estos continuarán presentándose después del año 2020 y por lo tanto los beneficios totales son mayores a los presentados en este informe, los cuales se enfocaron en el periodo de análisis del plan (2010-2020).

11. ACLARACIÓN SOBRE LA METODOLOGÍA DE PONDERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE A NIVEL DE TODA LA CIUDAD.

Tal y como fue mencionado en el Resumen del Proyecto y según los métodos descritos en detalle en los documentos de trabajo del PDDb, una componente esencial de la metodología desarrollada por la Universidad de los Andes tuvo que ver con la forma particular y decidida por el grupo de investigadores en que fue calculada la concentración media considerada como valor representativo de las condiciones de contaminación del aire a nivel de toda la ciudad.

Para el caso aquí descrito se utilizó la técnica de análisis de componentes principales, a través de la cual se pretende entender la dinámica en toda la ciudad teniendo en cuenta la variabilidad de todos los datos y las condiciones intrínsecas de dicha variabilidad.

En este sentido es de la mayor importancia resaltar que los resultados de la ponderación de niveles de contaminación del aire usando PCA no son iguales ni comparables con aquellos determinados a través de un promedio simple de los datos reportados por todas las estaciones que conforman la RMCAB ni tampoco será equivalente o comparable a promedios ponderados que sean calculados a través de los datos de la RMCAB después de aplicar pesos diferenciales a las estaciones debido a criterios como población expuesta, niveles de incumplimiento de la norma o tamaño de la cuenca atmosférica aferente.

Esto significa, tal y como es el caso para este estudio en particular, que las cifras de ponderación de calidad del aire no se pueden ni comparar ni equiparar si éstas son generadas por metodologías tan disímiles como las anteriormente mencionadas. Tal y como ocurre en muchas otras áreas del conocimiento, diferentes indicadores llevarán a diferentes resultados. Por ejemplo, Colombia es una de las 30 economías más grandes del mundo si se usa como criterio el Producto Interno Bruto corregido por efectos del Poder de Compra. Si en su lugar se usa como criterio el Producto Interno Bruto Per Cápita, Colombia no alcanza a pertenecer al grupo de las 100 economías más importantes.

Se hace esta aclaración dado que metodologías distintas llevan a resultados distintos y en este sentido el indicador utilizado por la Universidad al momento de generar los escenarios de modelación que hicieron parte de la formulación del plan de descontaminación es diferente al indicador que utiliza la SDA al momento de producir los reportes de calidad del aire para la ciudad. En este sentido se hace énfasis en que a través de este reporte la Universidad no está afirmando que el indicador usado por la SDA sea equivocado sino que para los propósitos particulares de la metodología analítica usada en este proyecto, el indicador por PCA fue considerado por el equipo de investigadores como un indicador más apropiado y que permitía obtener resultados relevantes para la planeación ambiental de la ciudad.

La metodología por PCA aporta solidez y rigurosidad estadística dado que los pesos y las participaciones porcentuales otorgadas a cada estación al momento de calcular la concentración media en toda la ciudad se obtienen después de corregir por el denominado efecto de correlación seriada y son a su vez función de la información reportada para el año utilizado como referencia.

Esta condición representa una gran fortaleza dado que la sensibilidad a la información particular le otorga la importancia debida a las variables meteorológicas así como a todos los demás aspectos que juegan un papel significativo al momento de determinar la calidad del aire en un punto de la ciudad. Al mismo tiempo, esta variabilidad no afecta la rigurosidad del procedimiento pues el mismo corresponde a un algoritmo perfectamente estandarizado que puede ser objeto de una rutina computacional para evitar errores al momento de su aplicación así como para garantizar la repetitividad de los resultados.

12. RECOMENDACIONES DE FUTUROS ESTUDIOS

En aras de continuar avanzando en el conocimiento y el entendimiento del problema de contaminación del aire en la ciudad y con el fin de que dicho conocimiento sea aplicable a la resolución del problema, se recomienda a la SDA y al distrito en general continuar apoyando la investigación y los proyectos de consultoría que sean afines a este propósito. En particular se recomienda avanzar en proyectos relacionados con los siguientes temas:

- Caracterización de material particulado, incluyendo iones, metales, hidrocarburos y carbón elemental y la utilización de esta información en metodologías de identificación de fuentes de contaminación.
- Mediciones de concentraciones ambientales de compuestos orgánicos volátiles y el uso de esta información en metodologías de identificación de fuentes de contaminación.
- Caracterización de la contaminación en ambientes intramurales, en especial en aquellos en donde se haga uso de fuentes de combustión.
- Determinación del impacto del elevado contenido de azufre en la gasolina colombiana en el desempeño de los convertidores catalíticos.
- Cuantificación del incremento de los factores de emisión en vehículos operados a la altura de la ciudad de Bogotá.
- Determinación de la correlación existente entre pruebas de emisiones vehiculares por medio de metodologías estáticas y dinámicas.
- Medición continua de calidad de combustibles en las estaciones de servicio.
- Cuantificación del impacto del uso de aceites usados en las emisiones de fuentes industriales de la ciudad de Bogotá.
- Cuantificación del impacto del uso de mezclas de etanol en los factores de emisión de hidrocarburos y sus consecuencias en la formación de ozono en la ciudad.
- Generación del ciclo de conducción representativo para las diferentes categorías vehiculares de la flota de Bogotá.
- Cuantificación de los beneficios en reducción de emisiones asociados con mejores prácticas de conducción (conducción verde).
- Valoración de estrategias de mitigación para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero.
- Desagregación espacial de los efectos de la contaminación sobre la salud de la población de Bogotá.
- Valoración del efecto que las autopistas y vías principales tienen sobre los niveles de contaminación en viviendas circundantes.
- Análisis de la dinámica atmosférica en Bogotá en lo referido a la formación de ozono y partículas secundarias.

13. REFERENCIAS

Barros, L.; Cadena, A. 2004. Competitividad del gas natural en el sector industrial de la zona centro de Colombia. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad de los Andes.

Behrentz, E., Osorio, D.M., Uscátegui, N.A. 2006. Concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire en inmediaciones de una vía de transporte público colectivo. Corporación Ambiental Empresarial de la Cámara de Comercio de Bogotá, Universidad de los Andes.

Behrentz, E., Franco, J.F., Obando, D.C., Quijano, J.P. 2008. Caracterización de la exposición de contaminantes atmosféricos en ambientes interiores relacionados con el uso de gasodomésticos. Gas Natural S.A., Universidad de los Andes.

Cámara de Comercio de Bogotá. 2008. Programa Bogotá Emprende. Disponible en línea. Consultado en febrero de 2010 en: <http://www.bogotaemprende.com/>

California Air Resources Board. 2007. Air Quality Management Plan. Disponible en línea. Consultado en junio de 2009 en: <http://www.aqmd.gov/aqmp/07aqmp/07AQMP.html>

Chui, E.H., et al. Performance improvement and reduction of emissions from coal-fired utility boilers in China. Energy for Sustainable Development. 2010.

Contraloría de Bogotá. 2007. La política de movilidad encaminada a reducir la sobreoferta seguirá inmovilizada. Consultado en: <http://www.contraloriabogota.gov.co>

Corporación Autónoma Regional (CAR). 2004. Plan de gestión ambiental regional 2001-2010.

Corporación Autónoma Regional (CAR). 2009. Elaboración del inventario de fuentes móviles en jurisdicción de la CAR y actualización del inventario de fuentes fijas, incluyendo gases de efecto invernadero.

Departamento Nacional de Planeación. 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010.

Espinosa, M., Maldonado, A., Behrentz, E. 2007. Contaminación en microambientes urbanos: caso de estudio en Bogotá, Colombia. Publicado en las memorias del Quinto Congreso Interamericano de la Calidad del Aire – AIDIS. Santiago de Chile, Chile.

FIA. Por una conducción más verde. Declaración de la FIA sobre la calidad del aire, el cambio climático y el ahorro de combustible para la automoción. 2007. Consulta en línea.

Franco, J., Behrentz, E., Rojas, N. 2007. Salud respiratoria y niveles de contaminación en instituciones educativas ubicadas en vías con alto tráfico vehicular.

Gaitán, M., Cancino, J., Behrentz, E. 2007. Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Volumen 26, Páginas 81 a 92.

Gaffney, J., Marley, N. The impacts of combustion emissions on air quality and climate-From coal to biofuels and beyond. Atmospheric Environment, 43. 2009.

Gary Fuller, Louise Meston, David Green, Emily Westmoreland y Frank Kelly. London Air Quality Network. Report 14: 2006-7. Environmental Research Group - King's College London.

Liu, H., He, K., He, D., Fu, L., Zhou, Y., Walsh, M., Blumberg, K. 2008. Analysis of the impacts of fuel sulfur on vehicle emissions in China. *Fuel* 87, 3147-3154.

Manufacturers of Emission Controls Association (MECA). 1998. The impact of gasoline fuel sulfur on catalytic emission control systems. Consultado en: <http://www.meca.org/galleries/default-file/sulfur.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Certificación para Exclusión de Pago de IVA. Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales. Consultado en febrero de 2010 en: <http://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2008. Política nacional de calidad del aire.

Ruíz, Alba M., Behrentz, E. 2009. Análisis de la calidad de los combustibles líquidos comercializados en Bogotá. Universidad de los Andes.

Sánchez, J., Osorio, J., Baena, E. 2007. Algunas aproximaciones al problema de financiamiento de las Pymes en Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica* Año XIII. Disponible en línea en: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/121025321-324.pdf>

Secretaría Distrital de Ambiente – SDA (2009). Subdirección de calidad del aire, auditiva y visual. *Informe semestral de Calidad del aire en Bogotá – Semestre I del 2009*. Bogotá, 2009.

Secretaría Distrital de Ambiente, Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SDA-SUR). 2008. Definición de elementos técnicos para la formulación de políticas distritales encaminadas al mejoramiento de la calidad del aire en Bogotá.

Schoorooten, L., De Vlieger, I., Lefebvre, F., Torfs. 2006. Costs and benefits of an enhanced reduction policy exhaust emissions from road traffic in Flanders. *Atmospheric Environment*, 40, 904-912.

Sher, Eran. Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines. American Press, 1998.

Solberg, S, Coddeville, P, Forster, C, Hov, Ø, Orsolini, Y, Uhse, K, 2005. European surface ozone in the extreme summer 2003. *Atmos. Chem Phys Discuss*, 5, 9003-9038.

Tanetsakunvatana, V., Kuprianov, V.I. Experimental study on effects of operating conditions and fuel quality on thermal efficiency and emissions performance of a 300-MW boiler unit firing Thai lignite.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). 2007. Plan energético nacional, Estrategia energética integral 2006-2025.

Witham, C and Manning, A, 2007. *Impacts of Russian biomass burning on UK air quality*. *Atmospheric Environment* 41, 8075-8090.