

Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá

Samuel Moreno Rojas

Alcalde Mayor

Secretaría Distrital de Ambiente**Directivos**

Juan Antonio Nieto Escalante

Secretario Distrital de Ambiente

Samir José Abisambra Vesga

Subsecretario General y de Control Disciplinario

Luis Carvajal

Asesor

Germán Darío Álvarez Lucero

Director de Control Ambiental

Fernando Molano Nieto

Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Grupo Técnico

Adriana Patricia Saboyá Ruíz

Alix Adriana Berbesí Chacón

Nidia Isabel Molina Gómez

Ernesto Romero Tobón

Freddy Abel Vargas Cardozo

Empresa de Transporte Tercer Milenio - Transmilenio S.A.

Fernando Páez

Gerente General de Transmilenio S.A.

Fernando Rojas

Subgerente de Operaciones

Deysi Yasmín Rodríguez Aponte

Profesional Especializado de Gestión Ambiental

Universidad de Los Andes**Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional**

Eduardo Behrentz Valencia

Juan Manuel Benavides

Juan Pablo Bocarejo

Margarita Canal

Mónica Espinosa Valderrama

Robinson Rodríguez Vásquez

Natalia Franco Salinas

Ivan Darío Lobo Romero

Óscar Armando Pardo Aragón

Édgar Mauricio Sánchez Silva

Lida Ávila

Juan José Castillo Lugo

María Fernanda Cely

Juan Felipe Franco Ramírez

Juan Márquez

Diana Carolina Obando

Juan Pablo Orjuela

Angélica Rodríguez

Alba Ruíz

Édgar Andres Virgüez

Universidad de La Salle

Boris Rene Galvis

Eder Pedraza Forero

Víctor Leonardo López

Angélica María Barrera Osorio

ISBN: 978-980-6810-45-7

Edición

Oficina Asesora de Comunicaciones

Gloria Maribel Torres Ramírez

Corrección y estilo

Yineth Pinilla

Fotografía

Secretaría Distrital de Ambiente

Diseño e impresión

Gatos Gemelos Comunicación

Primera Edición

Diciembre 2010

Impreso en Colombia

Agradecimientos

La Secretaría Distrital de Ambiente agradece de manera especial a las siguientes entidades y profesionales que contribuyeron al logro de esta publicación:

Corporación Andina de Fomento, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Secretaría Distrital de Salud, Secretaría Distrital de Movilidad, Gas Natural S.A., alcaldías locales,

Édgar Fernando Erazo Camacho, Camilo José Flórez Góngora, Édgar Vicente Gutiérrez, Jesús Miguel Sepúlveda Escobar, Gregorio Rodríguez Cardona, Cristian Camilo Díaz Merchán, Nicolás Cuadros Rubio, Mario Fernando Guerrero Parada, Mónica Helena Escobar Cardozo, Adriana Pinzón, Alfonso Cadena Osorio, Néstor Yesid Rojas, Andrés Medaglia, Jorge Seffair, Arthur Winer, Nancy Sánchez, Magdalena Fandiño, Laura Pinilla, Luis Jorge Hernández, Hugo Sarmiento Vela, a los ciudadanos que hicieron parte del proceso de participación comunitaria y a los profesionales de la Oficina de Participación y Apoyo a las Localidades.

Tabla de Contenido

Presentación	19
1 Aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos de Bogotá Distrito Capital.....	24
1.1 Geografía	27
1.2 Meteorología y su influencia sobre la calidad del aire	27
1.2.1 Temperatura.....	27
1.2.2 Vientos	30
1.2.3 Precipitación	33
1.2.4 Humedad.....	35
1.2.5 Presión atmosférica	36
1.2.6 Radiación	37
1.3 Demografía	38
1.4 Desarrollo urbano	40
1.4.1 Crecimiento económico	40
1.4.2 Malla vial.....	41
1.4.3 Movilidad	42
1.4.4 Consumo energético	46
1.5 Efectos de la contaminación atmosférica en la salud	46
1.5.1 Efectos en la salud debidos a partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros.....	46
1.5.2 Efectos en la salud debidos al monóxido de carbono.....	47
1.5.3 Efectos en la salud debidos al dióxido de nitrógeno.....	47
1.5.4 Efectos en la salud debidos al ozono.....	47
1.5.5 Efectos en la salud debidos a la exposición a óxidos de azufre.....	47
1.5.6 Efectos acumulativos.....	47
2 Antecedentes normativos.....	48
3 Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB).....	58
3.1 Desde los primeros esfuerzos hasta la actual conformación de la RMCAB	61
3.2 Diseño inicial y modificaciones posteriores	62
3.3 Estado de la calidad del aire.....	68
3.3.1 Material particulado menor a 10 micras (PM ₁₀)	69
3.3.2 Material particulado menor a 2,5 micras (PM _{2,5}).....	72
3.3.3 Partículas Suspendidas Totales (PST).....	72
3.3.4 Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	72
3.3.5 Ozono.....	74
3.3.6 Monóxido de carbono.....	80
3.3.7 Dióxido de azufre	81

4	Acciones realizadas por la autoridad ambiental para el mejoramiento de la calidad del aire.....	82
4.1	Pico y Placa Ambiental.....	85
4.1.1	Desarrollo y seguimiento del programa.....	85
4.2	Pico y Placa de Movilidad.....	86
4.2.1	Desarrollo y seguimiento del programa.....	86
4.3	Mejoramiento del ACPM.....	86
4.3.1	Desarrollo y seguimiento del programa.....	86
4.4	Operativos en vía.....	87
4.4.1	Desarrollo y seguimiento del programa.....	87
4.5	Control a fuentes industriales.....	88
4.5.1	Desarrollo y seguimiento del programa.....	88
4.6	Inventarios de emisiones	88
5	Metodología	90
5.1	Sector transporte.....	93
5.1.1	Construcción de la línea base.....	94
5.1.2	Construcción del escenario tendencial	100
5.2	Sector industrial.....	103
5.2.1	Estimación de la línea base de emisiones.....	103
5.2.2	Proyección de las emisiones.....	104
5.3	Generación del portafolio óptimo de medidas.....	105
5.3.1	Metodología de análisis y descripción del modelo.....	105
5.3.2	Estructuración del problema.....	106
5.3.3	Condiciones de operación del modelo matemático.....	107
5.3.4	Funcionamiento del modelo de optimización	110
5.4	Cálculo de los beneficios	111
5.4.1	Área de estudio y horizonte temporal del análisis	111
5.4.2	Indicador de calidad del aire utilizado en la valoración	111
5.4.3	Selección de efectos.....	113
5.4.4	Funciones concentración respuesta.....	113
5.4.5	Línea base de los efectos evaluados.....	114
5.4.6	Determinación del cambio en el nivel de exposición a la contaminación atmosférica.....	115
5.4.7	Estimación de costos.....	115
5.5	Indicador de seguimiento del plan	121
5.6	Participación comunitaria.....	122
6	Línea base	126
6.1	Inventario de emisiones.....	129
6.2	Calidad del aire	130
7	Proyección de emisiones.....	134
8	Estructuración de medidas para el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (PDDAB).....	140
8.1	Objetivos y metas.....	143
8.2	Medidas/proyectos del Plan de Descontaminación	143
8.2.1	Sector industrial	145
8.2.2	Sector transporte.....	181

9	Generación del portafolio óptimo de medidas.....	236
10	Medidas complementarias.....	244
10.1	Medidas y recomendaciones sugeridas por la ciudadanía en el proceso de política participativa.....	247
10.1.1	Divulgación y educación a la ciudadanía sobre temas relacionados con la calidad del aire en Bogotá.....	247
10.1.2	Seguimiento y cuantificación de las emisiones provenientes de incendios forestales.....	252
10.2	Medidas y recomendaciones relacionadas con fuentes industriales	256
10.2.1	Fortalecimiento del programa de seguimiento y control a las industrias	256
10.2.2	Renovación de sistemas de combustión en la industria	259
10.2.3	Certificación para operarios de equipos de combustión	261
10.2.4	Recomendaciones adicionales	263
10.3	Medidas y recomendaciones relacionadas con fuentes vehiculares.....	264
10.3.1	Fomentar buenas prácticas de conducción	264
10.3.2	Optimización operacional de la flota de taxis.....	266
10.3.3	Recomendaciones adicionales	271
10.4	Otras medidas complementarias.....	272
10.4.1	Automatización de los reportes de información: toma de datos en operativos de control a fuentes fijas y móviles	272
10.5	Otras consideraciones.....	274
11	Beneficios en salud del Plan de Descontaminación.....	276
11.1	Análisis beneficios en la salud	279
11.2	Análisis costo beneficio	281
12	Seguimiento al PDDAB.....	284
	Referencias.....	288
	Anexos.....	296

Índice de Tablas

Tabla 1.	Distribución de la población por sexo según localidad. 2005, 2009 y 2015.....	38
Tabla 2.	Distribución porcentual de la población por grandes grupos de edad	39
Tabla 3.	Tasa de crecimiento del PIB real de Bogotá.....	40
Tabla 4.	Estado del subsistema vial.....	41
Tabla 5.	Efectos en la salud asociados a la exposición a contaminantes criterio de contaminación atmosférica.....	47
Tabla 6.	Parámetros medidos por la RMCAB en 1997.....	63
Tabla 7.	Estaciones y sensores RMCAB 2010.....	68
Tabla 8.	Número de excedencias a la norma horaria de ozono mensual, 2007-2009, horas distintas.....	78
Tabla 9.	Número de excedencias a la norma 8 horas de ozono mensual, 2007-2010, horas distintas.....	79
Tabla 10.	Categorías vehiculares.....	95
Tabla 11.	Flota vehicular de transporte público.....	97
Tabla 12..	Composición de la flota vehicular de transporte particular.....	98
Tabla 13.	Parámetros usados para la proyección del número de fuentes (taxis y motos).....	101
Tabla 14.	Categorías de las fuentes industriales de Bogotá.....	103
Tabla 15.	Resultados de la estructuración del problema.....	106
Tabla 16.	Categorías temáticas desarrolladas en cada mesa de trabajo de los talleres de participación comunitaria.....	123
Tabla 17.	Inventario de emisiones para el año base (2008).....	129
Tabla FF1.A.	Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.....	149
Tabla FF1.B.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	149
Tabla FF1.C.	Costo total.....	150
Tabla FF1.D.	Costo por tonelada de PM reducida.....	150
Tabla FF1.E.	Actores del sector público.....	150
Tabla FF1.F.	Actores del sector privado.....	151
Tabla FF1.G.	Otros/Ciudadanía.....	151
Tabla FF2.A.	Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.....	158
Tabla FF2.B.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	158

Tabla FF2.C.	Costo total.....	159
Tabla FF2.D.	Costo por tonelada de PM reducida.....	159
Tabla FF2.E.	Actores.....	159
Tabla FF3.A.	Porcentaje de la meta de reducción de emisiones para las diferentes categorías de la industria afectadas por esta medida.....	165
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.....	165
Tabla FF3.C.	Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.....	167
Tabla FF3.D.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	167
Tabla FF3.E.	Costo total.....	167
Tabla FF3.F.	Costo por tonelada de PM reducida.....	168
Tabla FF3.G.	Actores del sector público.....	168
Tabla FF3.H.	Actores del sector privado.....	168
Tabla FF3.I.	Otros/ciudadanía.....	169
Tabla FF4.A.	Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.....	175
Tabla FF4.B.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	176
Tabla FF4.C.	Costo total.....	176
Tabla FF4.D.	Costo por tonelada de PM reducida.....	176
Tabla FF4.E.	Actores del sector privado.....	177
Tabla FF4.F.	Otros/Ciudadanía.....	177
Tabla FF4.G.	Actores del sector público.....	177
Tabla FM1.A.	Modos de renovación de convertidores catalíticos.....	181
Tabla FM1.B.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	184
Tabla FM1.C.	Costo total.....	184
Tabla FM1.D.	Costo por tonelada de contaminante reducida.....	184
Tabla FM1.E.	Actores del sector público.....	185
Tabla FM1.F.	Actores del sector privado.....	185
Tabla FM1.G.	Otros/ciudadanía.....	185
Tabla FM2.A.	Modos de renovación de la flota de vehículos particulares.....	190
Tabla FM2.B.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	193
Tabla FM2.C.	Costo total.....	193
Tabla FM2.D.	Costo por tonelada de contaminante reducida.....	194
Tabla FM2.E.	Actores del sector privado.....	194
Tabla FM2.F.	Otros/Ciudadanía.....	194
Tabla FM2.G.	Actores del sector público.....	194
Tabla FM3.A.	Modos de renovación de convertidores catalíticos.....	198
Tabla FM3.B.	Costo total.....	201
Tabla FM3.C.	Costo por tonelada de contaminante reducida.....	201
Tabla FM4.A.	Impacto de la medida en la calidad del aire 2020.....	205

Tabla FM4.B.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	206
Tabla FM4.C.	Costo total.....	206
Tabla FM4.D.	Costo por tonelada de PM reducida.....	206
Tabla FM4.E.	Actores del sector público.....	206
Tabla FM4.F.	Actores del sector privado.....	207
Tabla FM4.G.	Otros/ciudadanía.....	207
Tabla FM5.A.	Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.....	214
Tabla FM5.B.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	214
Tabla FM5.C.	Costo total.....	215
Tabla FM5.D.	Costo por tonelada de PM reducida.....	215
Tabla FM5.E.	Actores del sector público.....	215
Tabla FM5.F.	Otros/Ciudadanía.....	216
Tabla FM5.G.	Actores del sector privado.....	216
Tabla FM6.A.	Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.....	222
Tabla FM6.B.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	222
Tabla FM6.C.	Costo total.....	223
Tabla FM6.D.	Costo por tonelada de PM reducida.....	223
Tabla FM6.E.	Actores del sector público.....	223
Tabla FM6.F.	Actores del sector privado.....	223
Tabla FM6.G.	Otros/Ciudadanía.....	223
Tabla FM7.A.	Impacto de la medida en la calidad del aire año 2020.....	229
Tabla FM7.B.	Impactos de la medida sobre otros sectores de la ciudad.....	230
Tabla FM7.C.	Costo total.....	230
Tabla FM7.D.	Costo por tonelada de PM reducida.....	231
Tabla FM7.E.	Actores del sector privado.....	231
Tabla FM7.F.	Actores del sector público.....	231
Tabla FM7.G.	Otros/Ciudadanía.....	232
Tabla 18.	Meta en emisiones de PM del plan de descontaminación.....	239
Tabla 19.	Portafolio óptimo de medidas del plan.....	240
Tabla 20.	Cronograma de implementación de las medidas.....	240
Tabla 21.	Comparación entre las emisiones acumuladas en los dos escenarios.....	243
Tabla MC1.A.	Impactos sobre otros sectores.....	249
Tabla MC1.B.	Actores.....	249
Tabla MC2.A.	Impactos sobre otros sectores.....	254
Tabla MC2.B.	Actores de la medida.....	255
Tabla MC4.A.	Impactos sobre otros sectores.....	257
Tabla MC4.B.	Actores del sector público.....	257
Tabla MC4.C.	Otros/Ciudadanía.....	258

Tabla MC5.A.	Impactos sobre otros sectores.....	260
Tabla MC5.B.	Actores del sector público.....	260
Tabla MC5.C.	Actores del sector privado.....	260
Tabla MC5.D.	Otros/Ciudadanía.....	260
Tabla MC6.A.	Impactos sobre otros sectores.....	262
Tabla MC6.B.	Actores del sector público.....	262
Tabla MC6.C.	Actores del sector privado.....	263
Tabla MC6.D.	Otros/ciudadanía.....	263
Tabla MC7.A.	Impactos sobre otros sectores.....	265
Tabla MC7.B.	Actores del sector público.....	265
Tabla MC7.C.	Actores del sector privado.....	266
Tabla MC7.D.	Otros/Ciudadanía.....	266
Tabla MC8.A.	Impactos sobre otros sectores.....	268
Tabla MC8.B.	Actores del sector público.....	269
Tabla MC8.C.	Actores del sector privado.....	269
Tabla MC8.D.	Otros/Ciudadanía.....	269
Tabla MC9.A.	Impactos sobre otros sectores.....	272
Tabla MC9.B.	Actores del sector público.....	273
Tabla MC9.C.	Actores del sector privado.....	273
Tabla 22.	Comparación en el número casos entre el escenario tendencial y el escenario con plan de descontaminación para el periodo 2010-2020.....	280
Tabla 23.	Resumen de beneficios económicos por la reducción de material particulado esperada con la implementación del plan de descontaminación.....	281
Tabla 24.	Análisis beneficio/costo usando diferentes tasas de descuento (millones de pesos de 2009).....	282
Anexo 1.	Listado de categorías vehiculares con los criterios de clasificación, los factores de actividad y los factores de emisión asociados.....	299
Anexo 2.	Factores de emisión utilizados en la estimación del inventario de emisiones industriales de Bogotá.....	301
Anexo 3.	Características de los sistemas de control de emisiones: Eficiencia de remoción y costos.....	302
Anexo 4.	Características de los sistemas de control de emisiones: requisitos de operación y aplicaciones más comunes.....	304
Anexo 5.	Características de los sistemas de control de emisiones: ventajas y desventajas.....	314

Índice de figuras

Figura 1.	Temperatura mensual promedio.....	28
Figura 2.	Promedio mensual multianual de temperaturas en tres zonas de la ciudad .	28
Figura 3.	Comportamiento de la temperatura durante el día.....	29
Figura 4.	Diferencia entre la temperatura a 20m y la temperatura a 2m.....	30
Figura 5.	Comportamiento de la velocidad del viento durante el día.....	32
Figura 6.	Promedio mensual multianual de PM ₁₀ , su relación con la velocidad del viento.....	32
Figura 7.	Variación porcentual de la concentración de PM ₁₀ y la velocidad del viento.....	33
Figura 8.	Promedios multianuales de precipitación.....	34
Figura 9.	Distribución espacial de la precipitación anual en Bogotá.....	35
Figura 10.	Promedios multianuales de humedad.....	36
Figura 11.	Presión atmosférica horaria.....	37
Figura 12.	Media multianual de radiación solar.....	38
Figura 13.	Distribución modal de viajes en Bogotá 2005.....	42
Figura 14.	Ubicación de las estaciones de las diferentes Redes de Monitoreo de Calidad del Aire en Bogotá.....	64
Figura 15.	Imagen WEB, estaciones de la RMCAB, índice de calidad del aire y utilidades.....	65
Figura 16 a.	Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB, parámetros meteorológicos.....	66
Figura 16 b.	Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB, contaminantes medidos.....	67
Figura 17.	PM ₁₀ en Bogotá calculado como promedio directo.....	69
Figura 18.	Distribución geográfica de la concentración de PM ₁₀ para el 2009, promedio anual y evento de mayor concentración.....	70
Figura 19.	Concentración mensual de Material Particulado año a año.....	71
Figura 20.	Concentración diaria de PM ₁₀ , viernes anterior (en azul) y siguiente (en verde) a Viernes Santo (en rojo), en µg/m ³ promedio directo, periodo 1998 a 2010.....	71
Figura 21.	Promedio mensual para PM _{2,5} por estaciones.....	72
Figura 22.	Evolución en la concentración de PST en los periodos 2002 a 2010.....	73
Figura 23.	Evolución de promedios anuales de NO ₂	73
Figura 24.	Excedencias horarias y octohorarias, enero/2000 a enero/2010.....	74
Figura 25.	Máximas concentraciones de O ₃ , PPB, enero/00 a enero/10.....	75

Figura 26.	Promedio anual de concentración de Ozono, 2000 a 2009 en PPB.	75
Figura 27.	Comportamiento promedio anual en PPB.....	76
Figura 28.	Comportamiento en 2 meses de alta concentración en PPB.....	77
Figura 29.	Concentración promedio mensual de ozono (ppb) 2007-2010.	77
Figura 30.	Comportamiento de la radiación solar 2006-2010.....	78
Figura 31.	Número días en que se sobrepasa la norma 8 horas para CO.....	80
Figura 32.	Concentración anual promedio de CO.....	80
Figura 33.	Evolución de promedios anuales de SO ₂	81
Figura 34.	Operativos en vía.....	87
Figura 35.	Metodología de análisis del sector transporte.	93
Figura 36.	Número acumulado de vehículos según año modelo -Base de datos SDM.....	97
Figura 37.	Esquema de las categorías de camiones en Bogotá.....	99
Figura 38.	Distribución de la flota de camiones en Bogotá según el tipo de combustible para 2008.....	99
Figura 39.	Construcción del modelo de crecimiento de la tasa de motorización.	100
Figura 40.	Crecimiento de los kilómetros recorridos por las distintas categorías de transporte de la ciudad.....	102
Figura 41.	Proyección de número de fuentes 2010-2020.....	102
Figura 42.	Toma de decisiones a través de optimización.....	105
Figura 43.	Esquema de selección y programación de proyectos.....	106
Figura 44.	Ejecución de un proyecto.....	107
Figura 45.	Modos de ejecución de un proyecto.....	108
Figura 46.	Beneficios de un proyecto.....	109
Figura 47.	Interacción entre proyectos.....	109
Figura 48.	Costo económico proyectado.....	110
Figura 49.	Análisis de resultados.....	110
Figura 50.	Estructura metodológica para la determinación del número de casos evitados por una reducción en la concentración de PM ₁₀	112
Figura 51.	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.....	130
Figura 52.	Índice de porcentaje de excedencia de la norma de calidad del aire para PM ₁₀ con respecto a norma anual.....	131
Figura 53.	Mapa de iso-concentraciones de PM ₁₀ en Bogotá para el año 2008.	131
Figura 54.	Proyección de las emisiones de fuentes móviles para el horizonte 2008-2020.....	137
Figura 55.	Proyección de las emisiones de fuentes fijas para el horizonte 2008-2020.....	138
Figura FF1.A.	Emisiones de PM del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.....	147
Figura FF1.B.	Emisiones de NO _x del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.....	147
Figura FF1.C.	Emisiones de COT del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.....	147

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.....	148
Figura FF1.E.	Emisiones de CO ₂ del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.....	148
Figura FF1.F.	Opciones de implementación de la medida.....	154
Figura FF2.A.	Emisiones de PM del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.....	156
Figura FF2.B.	Emisiones de NO _x del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.....	156
Figura FF2.C.	Emisiones de COT del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.....	157
Figura FF2.D.	Emisiones de CO del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.....	157
Figura FF2.E.	Emisiones de CO ₂ del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.....	157
Figura FF2.F.	Opciones de implementación de la medida.....	163
Figura FF3.A.	Emisiones del sector industrial con la aplicación de la medida y en el escenario tendencial.....	166
Figura FF3.B.	Opciones de implementación de la medida.....	171
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..	173
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..	174
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..	174
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..	174
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..	175
Figura FF4.F.	Mecanismos de implementación de la medida.....	180
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.....	182
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.....	183
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.....	183
Figura FM1.D.	Opciones de implementación de la medida.....	189
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.....	190
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.....	191
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.....	191
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.....	192

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.....	192
Figura FM2.F.	Mecanismos de implementación de la medida.	197
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.....	198
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.....	199
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.....	199
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.....	200
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.....	200
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.....	203
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.....	203
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.....	204
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.....	204
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.....	205
Figura FM4.F.	Opciones de implementación de la medida.	210
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.....	212
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.....	212
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.....	213
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.....	213
Figura FM5.E.	Opciones de implementación de la medida.	219
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).....	221
Figura FM6.B.	Opciones de implementación de la medida.	227
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.....	228

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.....	229
Figura FM7.C.	Alternativas de implementación de la medida.	235
Figura 56.	Emisiones de material particulado entre 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.....	241
Figura 57.	Emisiones de óxidos de nitrógeno entre 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.....	241
Figura 58.	Emisiones de monóxido de carbono entre 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.	242
Figura 59.	Emisiones de compuestos orgánicos totales entre 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.	242
Figura MC1.A.	Opciones de implementación de la medida.	251
Figura MC2.A.	Media móvil (30 días) - Concentración de PM _{2.5} en Estación Kennedy.....	252
Figura MC2.B.	Número de incendios ocurridos en Bogotá por trimestres.....	253
Figura MC2.C.	Tamaño de los incendios registrados anualmente.	253
Figura 60.	Concentración de PM 2010-2020 (valorada por la metodología PCA) en el escenario tendencial en comparación con el escenario con plan de descontaminación.	279

Presentación

Durante los últimos años, la administración de Bogotá ha realizado grandes esfuerzos e inversiones para mejorar la calidad del aire en la ciudad. Si bien dichos esfuerzos se han materializado en logros significativos, tales como los bajos niveles de monóxido de carbono y óxidos de azufre que se perciben en la atmósfera y la ruptura en la tendencia incremental de las concentraciones de material particulado; son muchos los desafíos que enfrenta la ciudad en su futuro cercano, las expectativas de crecimiento económico (con el consecuente incremento en la 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 de la población a material particulado y a algunas excedencias en las concentraciones de ozono, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) ha hecho grandes esfuerzos en el control de la contaminación atmosférica contando con los programas de fuentes fijas y móviles.

Para el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad se realizó la modernización de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), que incluyó la actualización de equipos, la compra de una unidad móvil, la reubicación de estaciones de monitoreo, el mejoramiento del sistema de transferencia de datos y publicación vía web de los datos de calidad del aire que pueden ser consultados en tiempo real.

La Secretaría Distrital de Ambiente para el mejoramiento de sus procesos implementó un sistema integrado de gestión -SIG, adoptado mediante Decreto 176 de 2010, obteniendo certificaciones en ISO 9001:2008, NTC GP -1000:2009 e ISO 14001:2004 de manera integrada con el Modelo Estándar de Control Interno (MECI), actualmente se busca obtener la acreditación en ISO 17025:2005 para la RMCAB dando cumplimiento con el ciclo de mejora continua del Sistema.

La SDA se ha apoyado en la academia, y para lograr una sólida fundamentación técnico científica que permita tomar decisiones objetivas y costo eficientes ha buscado alianzas con los sectores público y privado para canalizar debidamente las decisiones.

Con la Universidad de la Salle se realizó el diagnóstico de la ubicación técnica de las estaciones de la RMCAB y la actualización del plan de contingencia de calidad del aire para Bogotá.

La Universidad Nacional de Colombia ha apoyado la realización e implementación de los procedimientos de la RMCAB y el diseño, puesta en marcha y ejecución de un software que permitirá el control y mejora de todos los procedimientos e instructivos, resaltando dentro de ellos la gestión metrológica. En este esfuerzo y en los procesos de actualización de las herramientas de modelación de calidad del aire, la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol S. A.) también ha sido un socio estratégico.

En los temas de fuentes móviles y fuentes fijas, generadoras de emisiones atmosféricas, la Secretaría Distrital de Ambiente ha avanzado en la producción de los soportes técnicos para normar, implementar y ejercer sus funciones de manera responsable y eficiente.

Con la Universidad Nacional de Colombia se han llevado a cabo proyectos para la estandarización del uso de opacímetros, con el fin de generar un resultado confiable, repetible e independiente de la marca o modelo del equipo usado en la medición de la opacidad; la revisión y modificación de procedimientos de auditoría; la estandarización y determinación de los límites máximos permisibles para fuentes móviles accionadas con motor diesel y la evaluación del efecto del material particulado PM_{10} sobre síntomas respiratorios en una población expuesta a contaminación ambiental.

El estudio de mercado de combustibles utilizados en fuentes fijas en Bogotá y los soportes técnicos para generar un proyecto de norma para fuentes fijas que armonice la normatividad distrital con la nacional fueron trabajados con la Universidad de Cundinamarca, en el último proyecto se incluyó la evaluación de métodos alternativos al muestreo isocinético para la determinación de emisiones en fuentes fijas.

En el mejoramiento de calidad del diesel, la Alcaldía Mayor de Bogotá ha sido un actor importante al firmar el pacto por una mejor calidad del aire para Bogotá con Ecopetrol y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; cada una de las partes ha cumplido sus compromisos a cabalidad y se ha brindado a la ciudad un diesel con una concentración de 500 ppm de azufre a partir de julio de 2008 y en el 2010 ya se contaba con un contenido de azufre menor a 50 ppm. La SDA ha comprobado la calidad del combustible mediante seguimientos en las estaciones de servicio.

Es importante resaltar la actualización de inventarios de fuentes industriales y vehiculares generadoras de emisiones atmosféricas realizadas en el 2008, trabajo conjunto realizado con el grupo de estudios en sostenibilidad urbana y regional de la Universidad de los Andes, así como la caracterización química del material particulado presente en la atmósfera bogotana y la modelación de fuentes receptoras.

Culmina estos esfuerzos la formulación del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (PDDAB), trabajo que se desarrolló con la Empresa de Transporte Tercer Milenio Transmilenio S. A. y la Universidad de los Andes. Se trata de la estructuración de los proyectos encaminados a la descontaminación y reúne las medidas que deberán ser implementadas, con el concurso de los sectores público y privado, para lograr la reducción de emisiones contaminantes que, hoy por hoy, afectan la salud de la población y la calidad de vida y, por ende, limitan el derecho constitucional a un ambiente sano.

Algunos de los aportes más relevantes de las investigaciones y estudios realizados se caracterizan por contar con información técnica netamente local. La integración de todos los proyectos por parte de la SDA constituye bases sólidas para la construcción de la Política de Calidad del Aire de Bogotá, de la cual el PDDAB es el primer paso.

En esta formulación se partió de las acciones antes mencionadas y se aplicaron metodologías adecuadas para la valoración de la relación beneficio-costos y la cuantificación del costo-efectividad de las medidas propuestas. Además, los proyectos propuestos fueron sometidos a un análisis de optimización basado en las técnicas de programación lineal a partir de las cuales se encontró su portafolio ideal.

Dicho portafolio es el mejor posible desde el punto de vista de la capacidad de reducción de emisiones; una meta más ambiciosa sería excesivamente costosa de cumplir.

Como parte del proceso de formulación 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, a través del cual se consideraron las necesidades más sentidas de la población al momento de formular la política en referencia.

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, tiene pocos antecedentes para el caso bogotano y las cifras generadas en este proyecto serán de inmensa utilidad para la ciudad. Al respecto, importa 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. Éste ha sido el caso tanto para los factores que generan las emisiones como para las estadísticas de salud.

El documento está organizado en doce capítulos. El capítulo 1 presenta una breve descripción de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos de la ciudad, que muestran el panorama en el cual se desarrollará las medidas y los proyectos propuestos por el PDDAB lo cual resulta fundamental para la toma de decisiones.

También muestra una síntesis de los efectos sobre la salud, generados por la exposición a los contaminantes atmosféricos.

En el capítulo 2 se desarrolla una descripción de los antecedentes normativos aplicables a la calidad del aire y su evolución hasta la actualidad.

El capítulo 3 presenta la historia del funcionamiento y modernización de la red de monitoreo de la calidad del aire de Bogotá y hace referencia al estado de la calidad del aire, presentando un análisis del comportamiento de los contaminantes atmosféricos: material particulado, partículas suspendidas totales, óxidos de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono y dióxido de azufre.

De otra parte, en el capítulo 4 se refieren, en forma breve, las acciones y programas que la Secretaría Distrital de Ambiente ha emprendido durante los últimos años para el mejoramiento de la calidad del aire y que son fundamentales como complemento al Plan Decenal.

El capítulo 5 describe la metodología desarrollada para la elaboración del plan, en los sectores de transporte e industria, se muestra claramente cómo se obtuvo el portafolio óptimo de medidas, la valoración del costo-beneficio, el proceso de participación comunitaria y finalmente el indicador de seguimiento del plan.

La línea base se encuentra en el capítulo 6, donde aparecen los resultados de los inventarios de emisiones atmosféricas realizados en la ciudad.

El inventario de las emisiones generadas para el año base 2008 y la proyección de emisiones en el escenario tendencial sin plan, se presentan en el capítulo 7.

El capítulo 8 trata de los objetivos y metas vinculados a la reducción de las concentraciones atmosféricas contaminantes en la ciudad. En éste capítulo se presentan las medidas consideradas en el plan; cada una está estructurada teniendo en cuenta el tipo y categoría de la fuente a la cual va dirigida, así como su descripción y objetivo de aplicación; se presentan los posibles modos de aplicación y el tiempo de implementación; a través de fichas técnicas se detallan para cada medida los impactos en el inventario de emisiones, los beneficios en exposición personal, los impactos sobre otros sectores, un análisis de costos, actores, instrumentos y herramientas de apoyo, las barreras posibles de implementación así como las estrategias y recomendaciones adicionales específicas.

En el capítulo 9 se evalúan las medidas propuestas mediante un modelo de optimización que da como resultado el portafolio óptimo de las mismas; se presentan las cinco medidas más costo-efectivas para la ciudad y que de la mejor manera contribuyen con el cumplimiento de la meta de descontaminación del aire. También se describen en este capítulo el escenario tendencial y el escenario con la implementación del plan de descontaminación para el periodo 2008-2020.

Las medidas sugeridas comprometen principalmente al sector industrial y de transporte y se refieren a componentes de conversión de combustibles, mejoramiento tecnológico, acompañadas con mayores controles a las fuentes de emisión, capacitación, legislación y estrategias de comando y control.

En el capítulo 10 se proponen medidas complementarias que se consideran necesarias y relevantes como parte del plan.

Los beneficios en salud y el análisis costo beneficio de la implementación del Plan se describen en el capítulo 11, se comparan los resultados que se obtendrían en el escenario tendencial sin implementar el Plan, contra los resultados de su implementación.

Finalmente se plantea en el capítulo 12 el seguimiento a la implementación del PDDAB.

Debe anotarse que el Plan es de carácter integral y requiere una fuerte coordinación interinstitucional al interior del Distrito, proceso que será liderado por la SDA pero que debe ser acompañado por un esfuerzo integrador por parte de la Secretaría de Gobierno.

Por último, la Secretaría Distrital de Ambiente expresa sus agradecimientos a todas las entidades y personas que colaboraron para la adecuada formulación del PDDAB, en especial, a Transmilenio S. A y a la Universidad de los Andes.

Para la Secretaría Distrital de Ambiente es motivo de orgullo y satisfacción presentar este Plan, con el cual se aspira a colocar a la ciudad a la vanguardia ambiental en el concierto urbano de América Latina.



JUAN ANTONIO NIETO ESCALANTE
Secretario Distrital de Ambiente



**Aspectos físicos,
demográficos y
socioeconómicos
de Bogotá
Distrito Capital**

**Aspectos físicos,
demográficos
y socioeconómicos
de Bogotá Distrito Capital**

1.1 Geografía

Bogotá D. C. se ubica en la cordillera oriental de los Andes, tiene una extensión total de 163,659 hectáreas (Ha), de las cuales 41,388 se clasifican en suelo urbano y 122,271 en suelo rural. Del total del área urbana 5,584 Ha y del área rural 72,289 Ha corresponden a áreas protegidas, las cuales representan el 3.4% y el 44.2% respectivamente del total de la superficie del Distrito Capital.

La mayor parte de la ciudad se ubica entre los 2,550 y los 2,620 m.s.n.m, aunque se encuentran alturas del orden de los 3,000 m.s.n.m en los cerros orientales.

El Acuerdo 02 de 1992 dividió en 20 localidades la ciudad quedando organizada de la siguiente manera: 1. Usaquén, 2. Chapinero, 3. Santa Fe, 4. San Cristóbal, 5. Usme, 6. Tunjuelito, 7. Bosa, 8. Kennedy, 9. Fontibón, 10. Engativá, 11. Suba, 12. Barrios Unidos, 13. Teusaquillo, 14. Los Mártires, 15. Antonio Nariño, 16. Puente Aranda, 17. La Candelaria, 18. Rafael Uribe, 19. Ciudad Bolívar y 20. Sumapaz.

1.2 Meteorología y su influencia sobre la calidad del aire

La atmósfera es un conjunto de delgadas capas de gases que envuelven el planeta Tierra. Su volumen es aún más pequeño, si se considera sólo la capa más cercana a la superficie del planeta, en la cual habita la vida, denominada tropósfera. Es en ese pequeño volumen, donde los contaminantes emitidos por actividades humanas o naturales se dispersan y se transforman, cambiando sus estructuras físicas y químicas, para finalmente entrar en contacto con los receptores, que pueden ser las personas, los animales, los vegetales o las cosas.

Estos procesos de dispersión, transformación y deposición de contaminantes están determinados por las fuerzas que alteran la atmósfera, los vientos, las lluvias, la temperatura, la radiación solar, la presión atmosférica y la humedad, principalmente.

1.2.1 Temperatura

La temperatura representa la energía térmica contenida en el aire. Esta energía modifica la presión atmosférica, hace que los vientos circulen y altera la estabilidad de la tropósfera, por lo tanto es uno de los parámetros que más influye en la dispersión y transformación de los contaminantes.

Bogotá posee una temperatura promedio de 13.9°C, una mínima media de 8.5°C y una máxima promedio de 20.0°C. Pero en realidad, la temperatura varía de acuerdo con la zona de la ciudad, la época del año y la hora del día. El centro de la ciudad es más caliente que los alrededores. Marzo, abril, mayo, octubre y noviembre son más calientes que el resto de los meses del año y obviamente el día es más caliente que la noche.

El centro de la ciudad se enfría menos que lugares alejados o despejados, debido a fuentes de calor al interior de las edificaciones y a la retención de energía térmica por parte de los materiales de construcción principalmente, a este efecto se le denomina isla de calor. De igual manera, el centro se calienta más por los automotores, la actividad de fábricas, la actividad comercial y la alta concentración de seres humanos. Por estas razones, la temperatura media en el sector central de Bogotá presenta valores alrededor de 15°C.

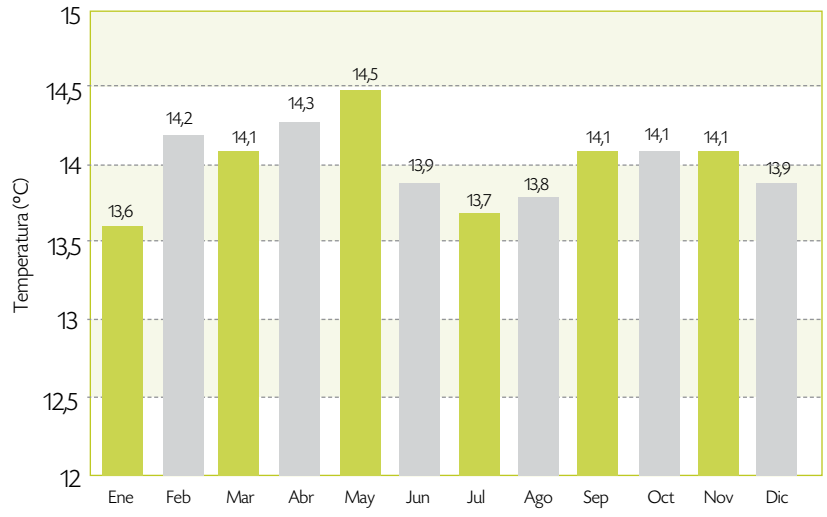


Figura 1. Temperatura mensual promedio.

Los meses más calientes coinciden con la época de lluvias, dado que la humedad actúa como una manta que retiene el calor e impide que se disipe en las noches hacia la atmósfera (Figura 1). Esta oscilación se puede observar en la Figura 2, donde se muestra la variación mensual de la temperatura en tres estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). La estación de Suba, cerca al límite urbano del distrito en el noroccidente, presenta las temperaturas más bajas, mientras que las estaciones de Las Ferias y Simón Bolívar, ubicadas en la zona central en Engativá y Teusaquillo respectivamente, presentan temperaturas similares, poco más del primer semestre la estación del Parque Simón Bolívar presenta temperaturas mayores, mientras que a final de mes se observan temperaturas mayores en la estación de Las Ferias.

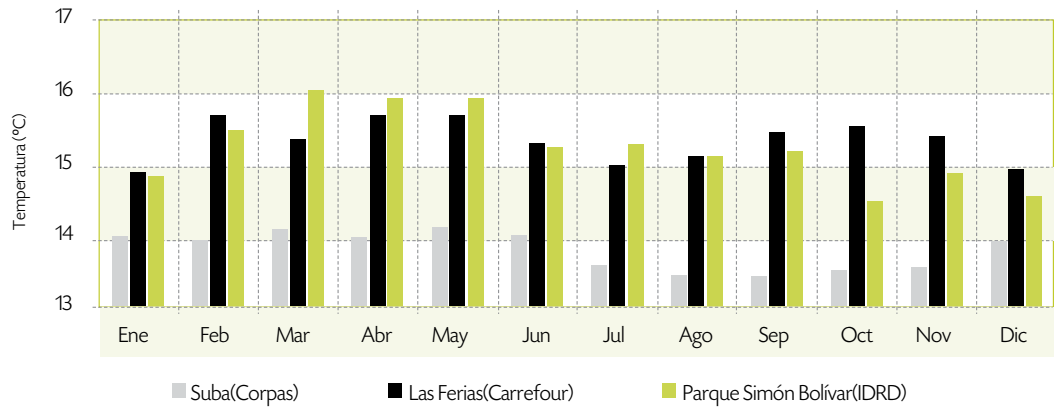


Figura 2. Promedio mensual multianual de temperaturas en tres zonas de la ciudad .

Fuente: 10 años de la RMCAB, actualizado por la RMCAB.

Durante el día la energía transferida por la radiación solar a la tierra es mayor que la emitida por la tierra al espacio, como resultado la atmósfera se calienta. En la noche la tierra sigue emitiendo radiación al espacio pero no recibe radiación solar y como resultado la atmósfera se enfría. En Bogotá, las temperaturas mínimas se presentan generalmente en horas de la madrugada, luego del enfriamiento nocturno, antes de que la radiación solar sea superior a la emitida por la tierra, y las temperaturas máximas se registran un par de horas después del medio día como puede apreciarse en la figura 3.

La variación de la temperatura, con la altura, se puede resumir de la siguiente manera: normalmente la temperatura del aire en la baja tropósfera disminuye a razón de 0.65°C por cada 100 metros de ascenso. Sin embargo, existen condiciones atmosféricas que hacen que este gradiente térmico vertical se haga mayor o menor y que, incluso, se invierta. Los contaminantes emitidos, teóricamente, ascienden perdiendo temperatura a razón de 1°C por cada 100 metros de ascenso¹. En días soleados, debido al sobrecalentamiento en la superficie, la atmósfera puede tener un gradiente mayor que el del aire seco² lo que permitiría una mejor dispersión de los contaminantes. Cuando la atmósfera se enfría a un ritmo similar al del aire seco, ésta es estable o neutra y en este caso los contaminantes no pueden ascender mucho ni dispersarse.

Cuando la temperatura en la baja tropósfera aumenta con la altura en lugar de disminuir, se presenta una "inversión térmica" que impide la dispersión de los contaminantes y los concentra cerca de la superficie fría.

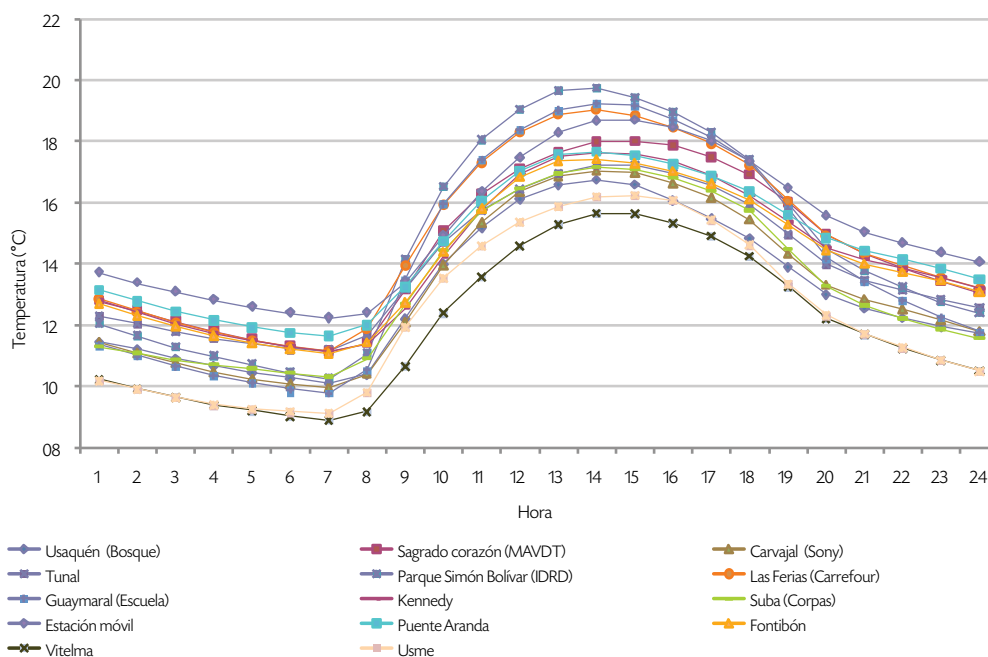


Figura 3. Comportamiento de la temperatura durante el día.

Fuente: Informe anual de 2009. SDA RMCAB. 2010

Este último comportamiento es frecuente en la Sabana de Bogotá cuando el cielo está despejado y el viento en calma. En horas de la madrugada el transporte de calor producido por las masas de aire cálidas se detiene permitiendo que se agrupen masas de aire frío en la superficie, lo que produce una inversión térmica; ésta se acentúa durante los meses en que se reducen las lluvias, cuando la nubosidad es muy escasa y son muy frecuentes las noches despejadas, por lo cual aumenta el calentamiento superficial durante el día y el enfriamiento nocturno.

¹ Esta condición se denomina de gradiente adiabático seco.

² Esta condición se denomina atmósfera súper-adiabática o inestable.

Si el viento es débil o está en calma, la variación diurna de la temperatura del aire se hace más notoria y los excesos de radiación de la tierra durante la noche crecen y conducen a un sobre-enfriamiento de la superficie, calentando la masa de aire en contacto con ella. Si las condiciones atmosféricas persisten hasta las horas de la madrugada, la inversión se hace más fuerte lo que inhibe la posibilidad de dispersión de los contaminantes emitidos en superficie. Durante estos periodos se puede ver claramente la capa de contaminantes sobre la ciudad, que dispersa la luz y reduce la visibilidad, además de aumentar la concentración de PM_{10} sobre la ciudad. La figura 4 muestra que este fenómeno se presenta entre las 21:00 horas y las 6:00 a.m. del día siguiente en la estación Guaymaral.

Durante los períodos lluviosos en Bogotá, las inversiones térmicas fuertes no son muy comunes y las temperaturas diurnas se muestran un poco bajas por la escasa radiación solar que llega a la superficie y por el enfriamiento del aire.

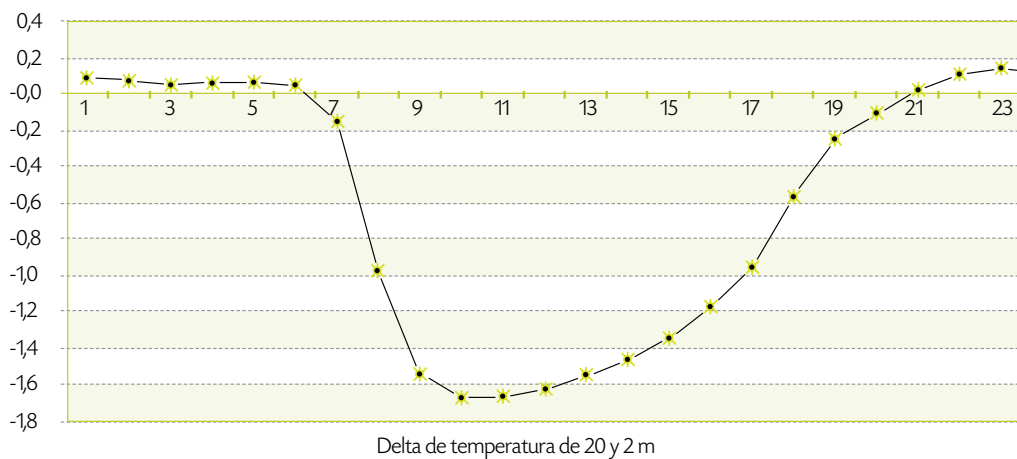


Figura 4. Diferencia entre la temperatura a 20m y la temperatura a 2m.

Fuente: 10 años de la RMCAB, revisado por la RMCAB

1.2.2 Vientos

El viento es el mecanismo de transporte del aire atmosférico y sus componentes. Las corrientes superficiales de aire son el resultado de las diferencias de presión inducidas por el calentamiento y enfriamiento de la atmósfera debido a la radiación solar y terrestre.

La velocidad del viento es el parámetro más importante en la renovación del aire sobre la superficie y en el transporte de los diversos contaminantes. Si el viento es moderado o fuerte cerca de la superficie, hay buena mezcla en las capas bajas de la atmósfera, situación que favorece la dispersión del material particulado y los gases contaminantes disminuyendo su concentración. De igual manera, el viento es el encargado de repartir las ganancias y pérdidas de calor en un gran número de moléculas, haciendo que sea menor, la variación diaria de la temperatura y la posibilidad de ocurrencia de inversiones térmicas.

Colombia, por su posición geográfica, está bajo la incidencia de los vientos alisios del noreste y del sureste, corrientes que determinan, en buena medida, el comportamiento general del viento sobre el territorio nacional. En Bogotá, dependiendo de la época del año, los vientos soplan predominantemente hacia el norte, oriente o nororiente con velocidades que oscilan entre 3 y 5 m/s. Se pueden presentar algunas ráfagas entre 12 y 17 m/s durante las horas de mayor calentamiento, especialmente entre enero, febrero, julio y agosto.

Durante la mayor parte del año predominan en Bogotá las calmas en horas de la noche, condición que promueve el enfriamiento superficial y no favorece la dispersión de las partículas contaminantes.

Existen dos regímenes de vientos en la ciudad, los generales y los vientos locales, los primeros son los de influencia sinóptica, denominados alisios, los cuales toman direcciones nororiente y suroriente sobre la ciudad y la sabana. Estos vientos traen consigo lloviznas que reemplazan las lluvias fuertes del periodo lluvioso y arrastran la contaminación producida en las zonas industriales de Soacha y Madrid hacia la ciudad. Los vientos locales son bastante variables y dependen de la distribución de las precipitaciones, predominan durante la segunda temporada de lluvias y viajan hacia el nororiente, oriente y occidente, con velocidades medias de 6 a 8 m/s. Los vientos con diferentes direcciones dan lugar a condiciones de discontinuidad y presencia de corrientes convectivas, que junto con el calentamiento del día, favorecen las precipitaciones fuertes y la ocurrencia de formaciones de tormentas eléctricas, granizadas y torbellinos en zonas locales y a veces de poca extensión. También favorecen la dispersión de los contaminantes en algunas zonas, pero en los meses de la segunda temporada de lluvias arrastran contaminantes sobre zonas de alta emisión.

Al oriente de la ciudad, el régimen de vientos es un poco diferente, debido a la influencia de los cerros orientales. Durante julio, agosto y parte de septiembre, las masas de aire procedentes del sureste del país se condensan y precipitan a barlovento (vertiente de los Llanos), en la parte alta de la montaña; cuando estas corrientes descienden hacia la ciudad lo hacen más secas y con mayor velocidad haciendo un barrido atmosférico, principalmente sobre los barrios ubicados en la franja del piedemonte.

La velocidad del viento disminuye hacia el centro de Bogotá, debido al incremento del número y altura de las construcciones, las cuales se convierten en obstáculos para el libre movimiento del aire. Los instrumentos de medición ubicados en las estaciones de la RMCAB ayudan a determinar el comportamiento del viento en áreas determinadas, pero las barreras mencionadas hacen muy difícil poder establecer con precisión la circulación general del viento en superficie.

Si se analiza el comportamiento de los vientos, durante el ciclo diario, se encuentra que en las mañanas algunas corrientes entran a la sabana desde el suroccidente, ascendiendo por las laderas de la cordillera oriental y continúan su camino, ascendiendo por las pendientes de los cerros orientales, y arrastran la contaminación hacia el oriente de la ciudad. Otra parte de las masas de aire es empujada hacia el noroccidente, donde se genera un frente de convergencia con las masas de aire que también suben la cordillera hasta los cerros noroccidentales y llevan la contaminación hacia la zona occidental de la ciudad.

Al medio día el patrón de vientos se encuentra desarrollado, con vientos que siguen ascendiendo hacia los cerros orientales. En las tardes, los vientos que han ascendido la cordillera hasta llegar a los cerros noroccidentales, los han sobrepasado y continúan para encauzarse en la sabana, entran a la zona urbana para ascender por los cerros nororientales. En la noche, los vientos provenientes de los cerros orientales descienden sobre la sabana, con velocidades altas (entre 2 y 3 m/s) hasta llegar sobre la ciudad, en donde disminuyen su velocidad por efecto de la isla de calor.

En general, en las mañanas, se presentan calmas y en las tardes vientos ligeros o moderados. En un día típico se encuentran las mayores velocidades de viento entre las 14:00 y las 15:00 horas, tal y como se muestra en la figura 5.

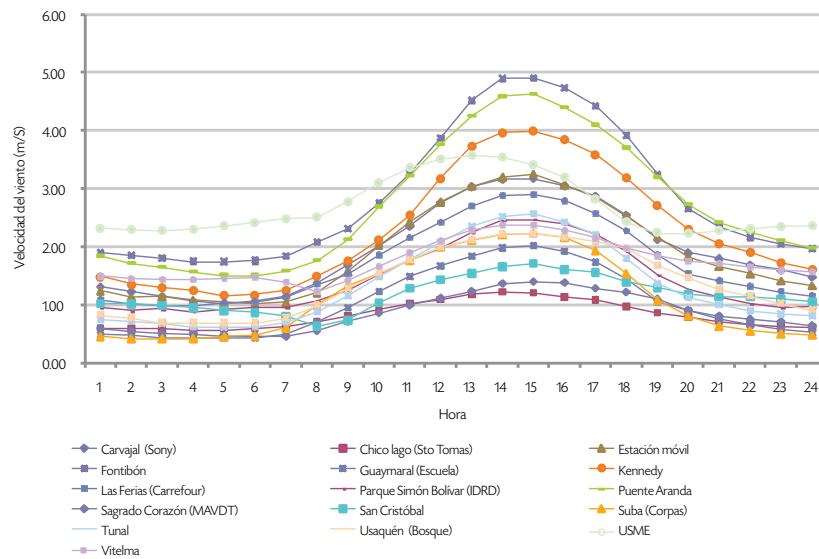


Figura 5. Comportamiento de la velocidad del viento durante el día.

Fuente: Informe anual de 2009. SDA RMCAB. 2010

En general, el viento favorece la dispersión de los contaminantes y hace que su concentración disminuya. Es así que, los meses más ventosos en la ciudad, julio y agosto, son los de más baja concentración de contaminantes como se presenta en la figura 6, donde se grafica este comportamiento para el PM_{10} . Puede observarse que la tendencia es prácticamente inversa. Gaitán y Behrentz (2009) reportan que para la estación de Puente Aranda existe un coeficiente de correlación de Pearson entre velocidad del viento y PM_{10} de -0.65, lo que indica que a mayores velocidades del viento, menor concentración del contaminante.

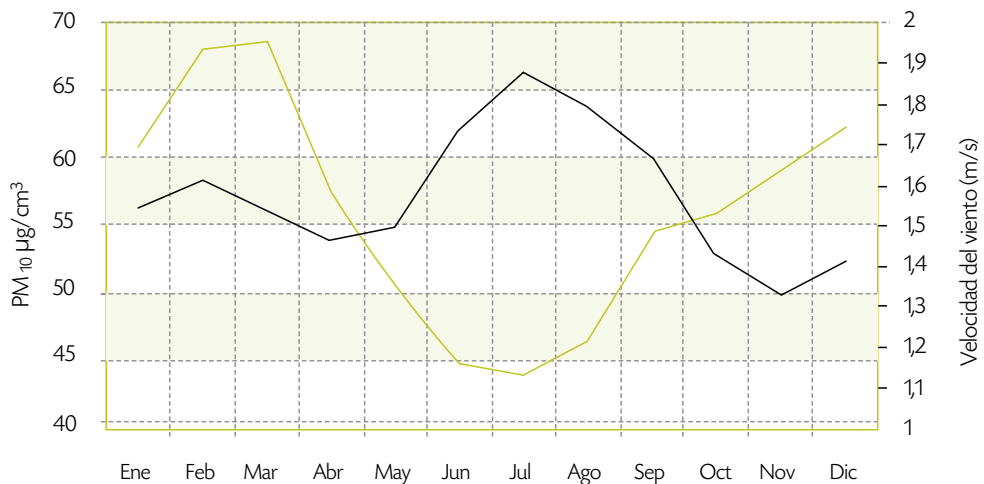


Figura 6. Promedio mensual multianual de PM_{10} , su relación con la velocidad del viento.

Fuente: 10 años de la RMCAB, actualizado por la RMCAB.

La figura 7 muestra la relación existente entre la variación porcentual de la velocidad del viento y del PM_{10} , tomando las medias móviles trimestrales de cada una de las variables. Existe una correlación inversa significativa, de donde se concluye que la variación positiva de la velocidad del viento hace que disminuya la concentración de PM_{10} , de ahí la importancia de monitorear el comportamiento de esta variable meteorológica con precisión, dado que representa un factor fundamental en la dispersión de contaminantes.

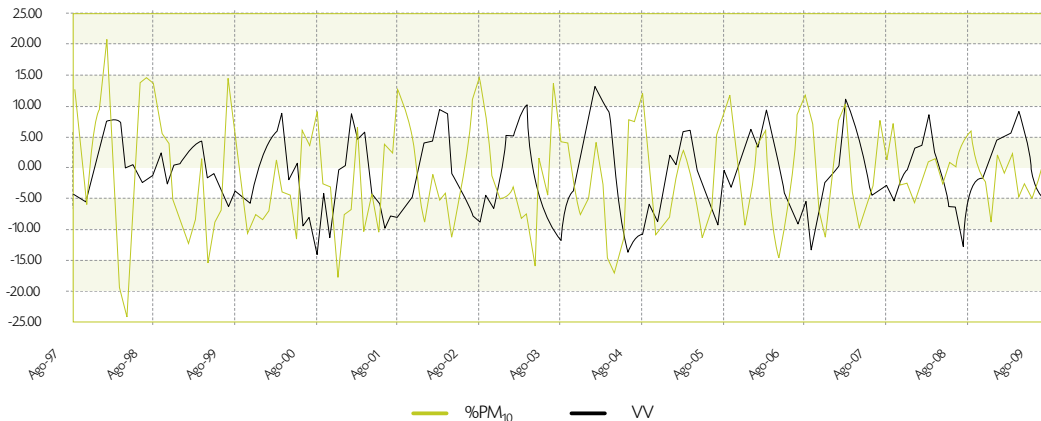


Figura 7. Variación porcentual de la concentración de PM_{10} y la velocidad del viento.

Fuente RMCAB: 10 años de la RMCAB, actualizado por la RMCAB. Datos hasta agosto de 2009.

1.2.3 Precipitación

Se denomina precipitación a la caída de hidrometeoros hasta hacer contacto con la superficie de la tierra. La precipitación puede ser sólida como la nieve (en otras latitudes) y el granizo, o líquida como la lluvia, la cual, dependiendo de su intensidad y el tamaño de sus gotas, recibe los nombres de llovizna, lluvia o aguacero. La precipitación es el factor más efectivo en la limpieza del aire y tiene una gran influencia en la deposición de contaminantes sobre la superficie y en la acidificación de los suelos.

En Bogotá, la lluvia es originada principalmente por convección, es decir, por el ascenso de masas de aire cálidas y húmedas, las cuales al enfriarse se condensan formando nubes y dando origen a la precipitación. Otro origen de la precipitación es el que se observa en el sector oriental de la capital, donde es muy común la formación de nubes orográficas debido a la presencia de los cerros orientales. El aire húmedo procedente de los llanos asciende por la cordillera condensándose y creando nubes que coronan la montaña y alcanzan la franja oriental de la ciudad lo que genera, la mayoría de las veces, lloviznas o lluvias ligeras en el corredor más próximo al piedemonte. Esta situación es más común entre julio y septiembre cuando los vientos alisios del suroriente están más activos. La precipitación total media anual en Bogotá es de 970 milímetros³.

El sistema meteorológico que determina la distribución temporal de la lluvia en el país es la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), que tiene su origen en el encuentro de las corrientes de aire, procedentes de latitudes medias denominadas alisios del nororiente y suroriente. Estas corrientes arrastran aire húmedo sobre la franja ecuatorial haciéndolo perder densidad por calentamiento y ascender, formando un gran cordón de nubosidad acompañado, generalmente, por lluvias frecuentes y la probabilidad de tormentas eléctricas. La ZCIT es dinámica y en su desplazamiento se sitúa en dos oportunidades sobre el centro del país, marcando las dos épocas lluviosas de la Sabana de Bogotá.

Como se puede observar en la figura 8, el primer periodo va desde marzo hasta comienzos de junio y el segundo entre septiembre y comienzos de diciembre. El hecho de alternarse dos temporadas lluviosas y dos relativamente secas durante el año, permite decir que el régimen de lluvias de Bogotá es de tipo bimodal.

3 Un milímetro de lluvia es la altura alcanzada por la lámina de agua al verter un litro de agua en un metro cuadrado de superficie.

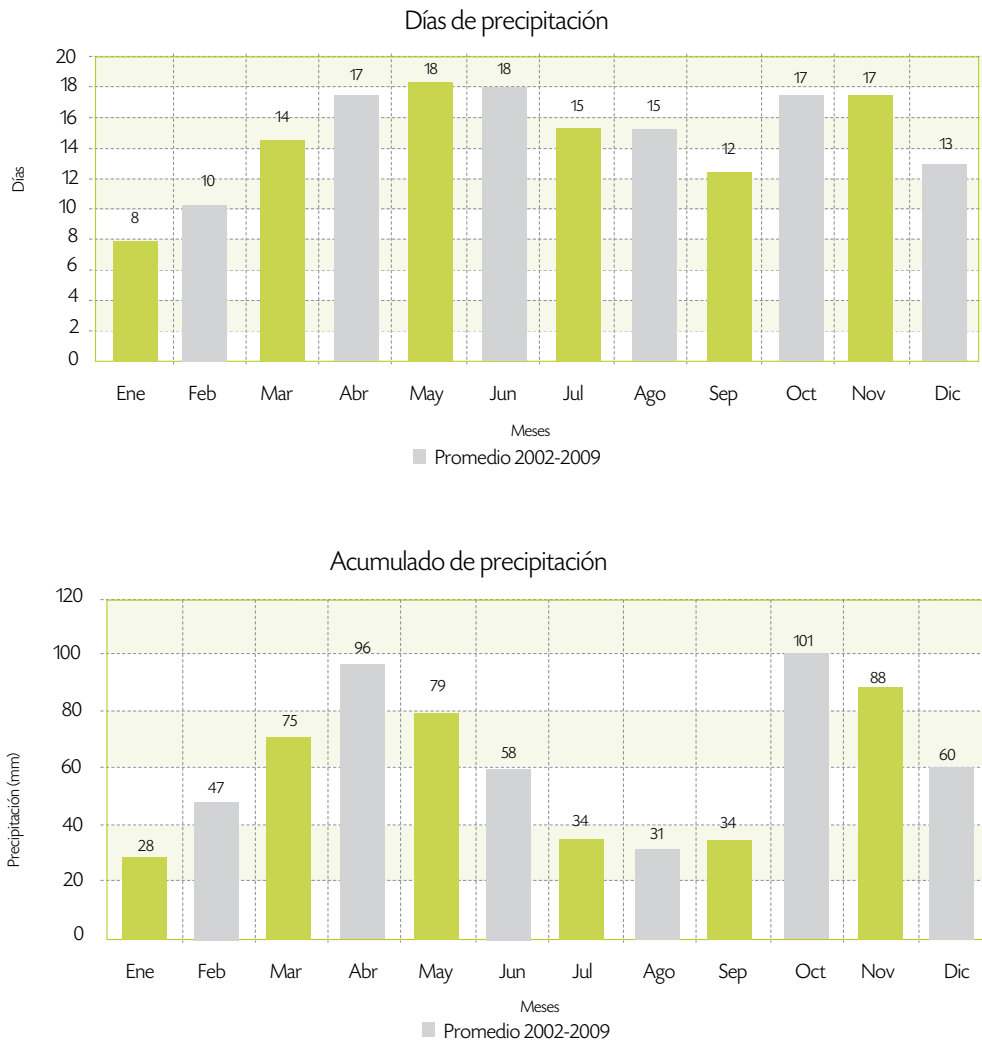


Figura 8. Promedios multianuales de precipitación.

Fuente: Informe I trimestre de 2010. SDA RM CAB. 2010.

La remoción de la contaminación por efecto de la precipitación es, generalmente, el resultado de la captura de los gases o del material particulado dentro de las gotas de lluvia y su deposición hacia la superficie de la tierra. Durante los periodos lluviosos, la atmósfera experimenta un lavado natural, sin embargo, es importante anotar que los excesos de precipitación conducen a un aumento en los niveles de humedad del aire por lo que durante las primeras horas de la mañana, debido al enfriamiento, es posible que haya formación de niebla donde las partículas contaminantes pueden hacer las veces de núcleos de condensación.

La precipitación no cae con la misma intensidad y frecuencia sobre todos los puntos de Bogotá. Mientras que al occidente de la ciudad en la estación Fontibón el total medio anual es de 819 mm, en el sector de la estación Parque Simón Bolívar el valor medio es de 940 mm y cerca del piedemonte de los cerros orientales se registran totales medios alrededor de 1,100 mm. De igual manera, el número de días con lluvia oscila entre 180 al occidente de la ciudad y 195 al oriente, cerca de los cerros; el sector más seco de la capital es el suroccidental (Kennedy, Bosa y Ciudad Bolívar) donde el total de la lluvia oscila entre 600 y 800 mm.

Como se presenta en la figura 9, la franja oriental de la capital, en límites con el piedemonte de los cerros, recibe un aporte adicional de precipitación relacionado con la formación de nubes orográficas.

cas. Además, bajo condiciones atmosféricas especiales se presenta el arrastre de aire húmedo desde el suroccidente de la ciudad hacia los cerros del nororiente, situación que permite suponer que la franja oriental de la ciudad cuenta con un mejor lavado atmosférico pero que, a su vez, puede estar recibiendo cargas contaminantes que representarían un aumento en la acidez de sus suelos.

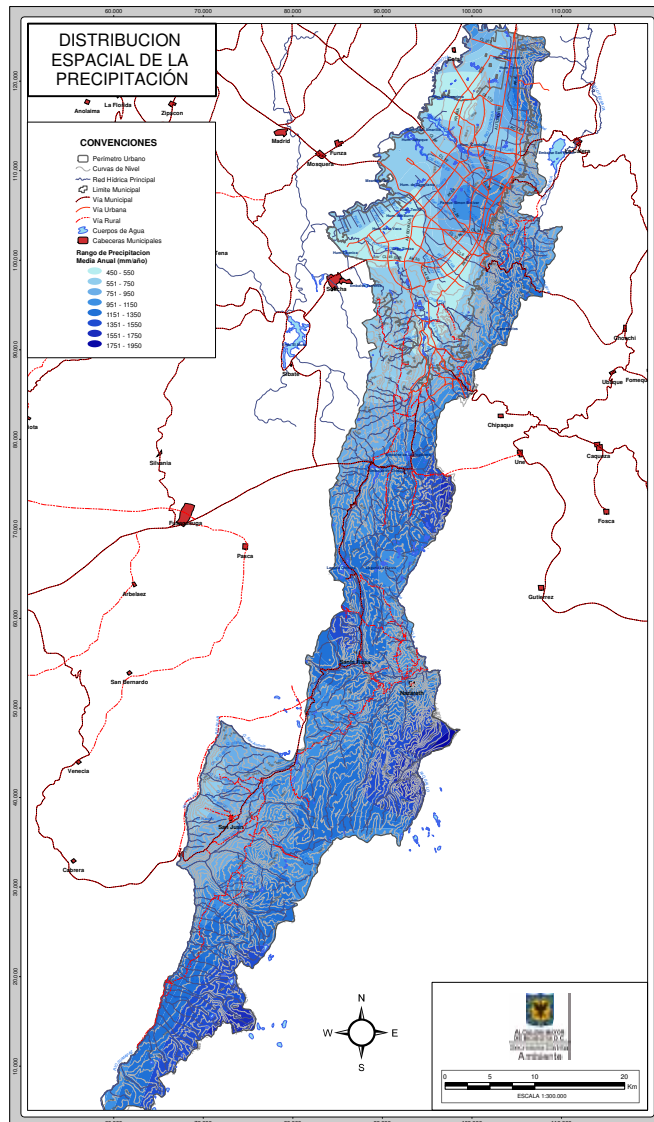


Figura 9. Distribución espacial de la precipitación anual en Bogotá.

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, 2007.

12.4 Humedad

El agua llega a la atmósfera a través de los procesos de evaporación y transpiración de manera que el aire en la baja atmósfera, siempre contiene una fracción de vapor de agua.

La cantidad de vapor en el aire es determinada mediante el parámetro denominado humedad relativa que permite establecer la relación entre la cantidad de vapor de agua existente en una parcela de aire y la que tendría si ésta se encontrara en estado de saturación, a las mismas condiciones de temperatura y presión.

En Bogotá los valores medios de humedad relativa oscilan entre 75% y 86%, dependiendo de la zona de la ciudad. En zonas despejadas donde la velocidad del viento se hace mayor, como aquellos próximos a avenidas concurridas, la humedad se hace menor, registrándose valores, inclusive, por debajo de 75%. De otro lado, en aquellos lugares donde el viento es débil por estar encerrado o tras barreras, se observan valores medios entre 82% y 85%, debido a la falta de mezclado y dispersión. Otra condición que incrementa los valores de humedad es la cobertura vegetal, debido a su aporte por transpiración. (Figura 10)

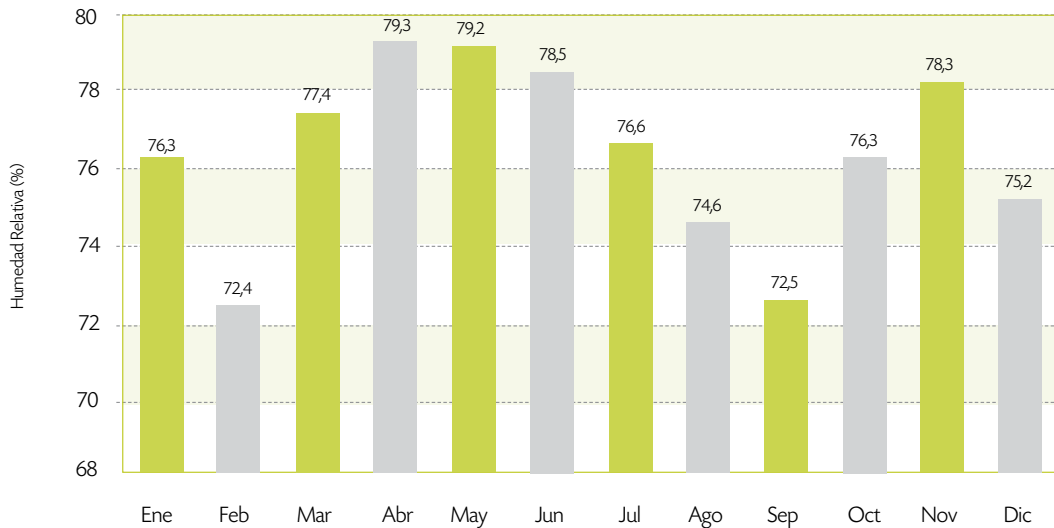


Figura 10. Promedios multianuales de humedad.

Fuente: Informe I trimestre de 2010. SDA RM CAB. 2010.

En sectores montañosos, a barlovento, donde se presenta la formación de nubes orográficas es normal observar un incremento en los valores de humedad relativa. Sin embargo, a sotavento, como en el caso del oriente bogotano, las corrientes de aire más rápidas y secas disminuyen la humedad, por lo que en sectores como la avenida Circunvalar, se observan valores de humedad alrededor del 80%.

El material particulado en la capa de aire cercana a la superficie sirve como núcleo de condensación, alrededor del cual se adhieren las gotitas de vapor de agua formando niebla, a la vez, los gases contaminantes pueden adsorberse y absorberse sobre esta niebla y formar un aerosol. Este fenómeno es muy común en los sectores despejados de Bogotá cuando hay noches con poca nubosidad, vientos en calma y alta humedad relativa.

1.2.5 Presión atmosférica

La presión atmosférica es el peso de la masa de la atmósfera sobre la superficie terrestre. Ésta presenta dos valores máximos (cerca de las 10 horas y a las 22 horas) y dos mínimos (alrededor de las 16 horas y las 4 horas) durante el día, comportamiento que recibe el nombre de variación semi-diurna por el espacio de tiempo que hay entre los dos ciclos. En Bogotá, el valor máximo medio se registra en la mañana (753.5 hPa) y el mínimo en horas de la tarde con un valor medio de 750.6 hPa (Figura 11).

La presión atmosférica está directamente relacionada con la temperatura y densidad del aire; además, es un parámetro que permite identificar el movimiento de las corrientes de aire a meso y macro escala y contribuye con el pronóstico de las lluvias en un lugar determinado. Es de suponer entonces que, existe una relación directa entre las variaciones de presión y la posibilidad de dispersión que tienen los contaminantes.

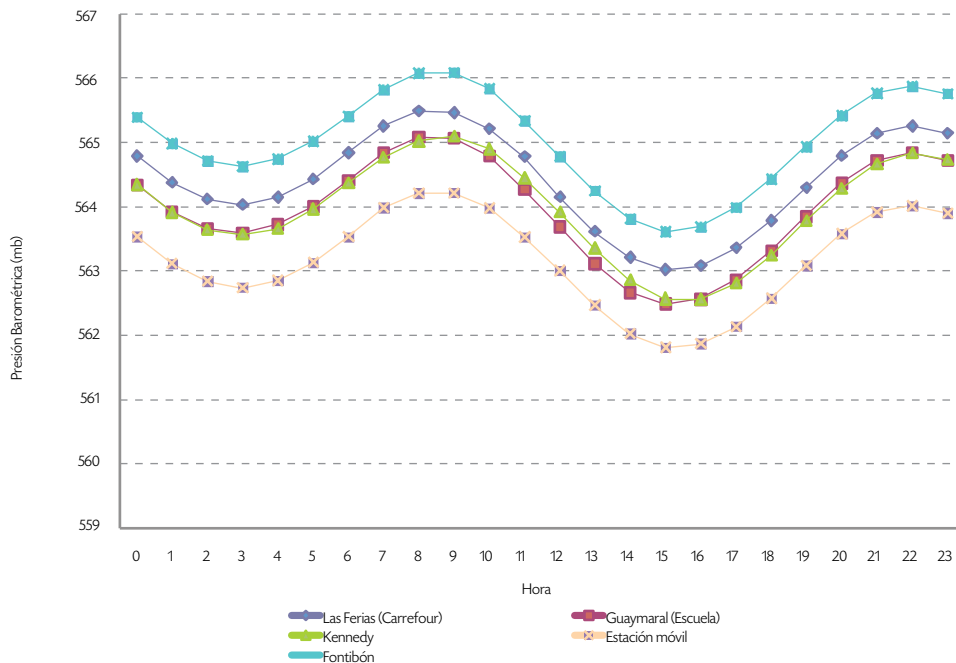


Figura 11. Presión atmosférica horaria.

Fuente: Informe I trimestre de 2010. SDA RM CAB. 2010.

El aire cálido y poco denso que caracteriza la franja ecuatorial explica el dominio de las bajas presiones sobre este sector del planeta. Colombia, y específicamente Bogotá, se ven favorecidos por esta condición atmosférica que por estar acompañada de movimientos ascendentes, facilita la dispersión de los componentes del aire, especialmente durante las horas del día cuando hay mayor calentamiento. Sin embargo, durante las épocas secas y particularmente en los amaneceres precedidos de noches despejadas las inversiones térmicas pueden anular esta posibilidad de dispersión.

1.2.6 Radiación

La mayor parte de los procesos que ocurren en el planeta tienen como fuente de energía a la radiación electromagnética emitida por el sol. El 9% de esta energía corresponde al ultravioleta, el 45% al espectro visible y el 46% restante al infrarrojo. Menos de la mitad de esta radiación proveniente del sol llega a la superficie de la tierra, debido a los procesos de absorción, reflexión y difusión que se dan en la baja atmósfera. La radiación solar no sólo es importante para determinar la estabilidad del aire atmosférico, sino que juega un papel importante en los procesos químicos atmosféricos y en la producción de algunos contaminantes como el ozono.

La distribución temporal de la radiación solar muestra descensos durante los meses en que se incrementan las lluvias. Los valores más altos de radiación solar en Bogotá se presentan en febrero, julio, octubre y diciembre, meses en que la nubosidad disminuye notoriamente. Los menores valores se observan durante los meses lluviosos, especialmente en mayo (Figura 12).

Cuando hay nubes aparece un cambio marcado en la distribución de la radiación solar, se incrementa la reflexión y la difusión y se reduce la cantidad de radiación directa sobre la superficie. De ahí que los datos sobre la cantidad y altitud de las nubes sean tan necesarios para una estimación de los efectos de la radiación solar. La cantidad de radiación solar global (radiación solar directa más la difusa) puede reducirse en una ciudad como Bogotá debido a la contaminación atmosférica (fenómeno conocido como *global dimming*) y la presencia de nubosidad. De hecho, investigaciones del Instituto Federal Suizo de Tecnología, mostraron que la radiación solar que alcanzaba la superficie terrestre había descendido en más del 10% si se compara con las tres décadas anteriores.

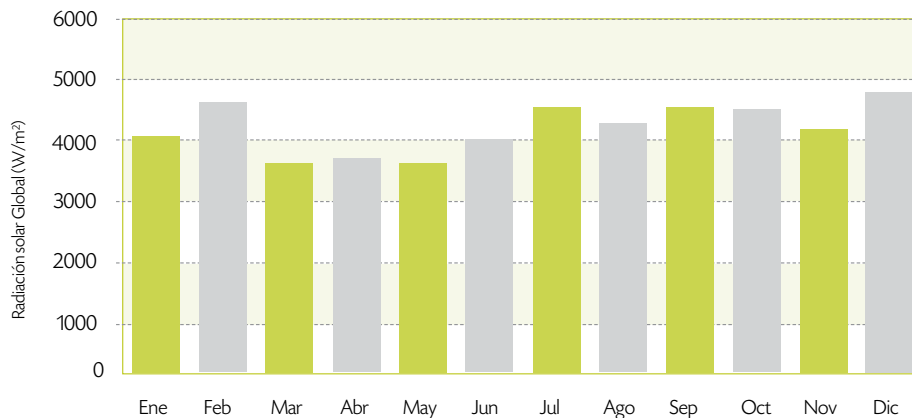


Figura 12. Media multianual de radiación solar.

Fuente: Informe I trimestre de 2010. SDA RMCAB. 2010.

1.3 Demografía

Según la información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la consolidación que realizó a la Secretaria Distrital de Planeación (SPD), Bogotá en 2008 contaba con 7155,052 habitantes, la tasa de crecimiento poblacional fue de 1.45, y fue proyectada para el 2015 en 1.30.

En la Tabla 1 se presenta la población de Bogotá por localidades y sexo para los años 2005, 2009 y 2015. Para junio 30 de 2009, las localidades en donde se encontró el mayor número de habitantes fueron: Suba con el 14.0% del total de la población (52.7% mujeres y 47.3% hombres), Kennedy con el 13.7% (51.4% mujeres y 48.6% hombres) y Engativá con el 11.4% (52.4% mujeres y 47.6% hombres). Por otra parte, las localidades con menor número de habitantes fueron Sumapaz, La Candelaria y Los Mártires.

Tabla 1. Distribución de la población por sexo según localidad. 2005, 2009 y 2015

Localidades	2005			2009			2015		
	Hombres	Mujeres	Ambos sexos	Hombres	Mujeres	Ambos sexos	Hombres	Mujeres	Ambos sexos
Usaquén	204,202	240,722	444,924	214,436	50,220	464,656	229,094	264,972	494,066
Chapinero	57,526	68,748	126,274	60,418	70,609	131,027	64,685	73,185	137,870
Santa Fe	54,767	54,696	109,463	55,118	54,764	109,882	55,489	54,564	110,053
San Cristóbal	199,179	210,474	409,653	199,849	210,410	410,259	198,396	207,629	406,025
Usme	147,198	152,423	299,621	172,051	177,295	349,346	214,039	218,685	432,724
Tunjuelito	99,195	103,147	202,342	99,517	102,602	202,119	99,269	100,779	200,048
Bosa	242,684	252,599	495,283	271,250	283,139	554,389	316,343	330,490	646,833
Kennedy	457,537	487,240	944,777	484,564	513,129	997,693	521,766	547,703	1069,469
Fontibón	141,223	156,710	297,933	156,316	173,840	330,156	180,174	200,279	380,453

Localidades	2005			2009			2015		
	Hombres	Mujeres	Ambos sexos	Hombres	Mujeres	Ambos sexos	Hombres	Mujeres	Ambos sexos
Engativá	377,090	416,854	793,944	394,566	433,530	828,096	418,890	455,865	874,755
Suba	433,417	485,163	918,580	481,549	537,080	1018,629	557,588	617,148	1174,736
Barrios Unidos	107,589	116,627	224,216	111,167	120,268	231,435	115,855	125,105	240,960
Teusaquillo	63,673	75,320	138,993	66,382	77,509	143,891	70,497	80,595	151,092
Los Mártires	47,234	48,632	95,866	48,402	48,881	97,283	49,840	48,918	98,758
Antonio Nariño	51,142	55,506	106,648	52,085	55,850	107,935	53,103	55,838	108,941
Puente Aranda	124,734	132,356	257,090	126,015	132,353	258,368	127,204	131,210	258,414
La Candelaria	12,418	11,567	23,985	12,600	11,495	24,095	12,799	11,297	24,096
Rafael Uribe Uribe	183,144	193,567	376,711	184,621	193,083	377,704	184,837	190,270	375,107
Ciudad Bolívar	278,643	289,218	567,861	302,030	314,425	616,455	336,796	351,127	687,923
Sumapaz	3,113	2,839	5,952	3,217	2,962	6,179	3,349	3,111	6,460
Total Bogotá	3285,708	3554,408	6840,116	3496,153	3763,444	7259,597	3810,013	4068,770	7878,783

Fuente: DANE-SDP, Proyecciones de Población por localidades 2006-2015.

Para 2009 la distribución de la población por grupos de edad en la ciudad, se presentó de la siguiente manera: El 25.2% entre 0-14 años, el 68.7% entre 15-64 años y el 6.1% son mayores de 64 años. Por localidades, los mayores porcentajes de población entre 0-14 años se registraron en Usme (31.8%), Ciudad Bolívar (31.6%) y Sumapaz (31.6%); los de 15-64 años en Chapinero (75.1%), Teusaquillo (74.2%) y La Candelaria (73.5%) y los mayores a 64 años en Teusaquillo (11.2%), Chapinero (10.5%) y Barrios Unidos (10.0%) (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Distribución porcentual de la población por grandes grupos de edad

Localidades	2005			2009			2015		
	0-14	15-64	65 y más	0-14	15-64	65 y más	0-14	15-64	65 y más
Usaquén	22.0	70.6	7.4	20.1	71.6	8.3	17.9	72.0	10.1
Chapinero	15.6	74.9	9.5	14.4	75.1	10.5	12.5	74.9	12.7
Santa Fe	27.1	66.0	6.8	25.1	67.2	7.7	22.5	67.9	9.5
San Cristóbal	30.6	64.4	5.0	28.4	65.9	5.6	25.9	67.0	7.1
Usme	33.9	62.8	3.2	31.8	64.5	3.7	29.2	66.0	4.7
Tunjuelito	27.6	66.5	5.9	25.6	67.8	6.6	23.1	68.6	8.3
Bosa	32.2	64.5	3.3	29.9	66.2	3.8	27.6	67.6	4.9
Kennedy	28.2	67.4	4.5	26.1	68.9	5.0	23.7	70.0	6.3
Fontibón	25.6	69.1	5.2	23.6	70.5	5.9	21.4	71.3	7.4

Localidades	2005			2009			2015		
	0-14	15-64	65 y más	0-14	15-64	65 y más	0-14	15-64	65 y más
Engativá	24.7	69.1	6.2	22.7	70.3	7.0	20.4	70.9	8.7
Suba	26.5	68.4	5.0	24.5	69.9	5.6	22.2	70.7	7.1
Barrios Unidos	20.5	70.5	9.0	18.5	71.4	10.0	16.4	71.6	12.1
Teusaquillo	16.0	73.8	10.2	14.6	74.2	11.2	12.7	73.8	13.5
Los Mártires	23.1	69.7	7.2	21.2	70.7	8.0	18.9	71.3	9.9
Antonio Nariño	26.3	66.3	7.4	24.3	67.4	8.4	21.7	68.0	10.3
Puente Aranda	23.0	69.2	7.8	21.2	70.1	8.7	18.9	70.4	10.7
La Candelaria	19.6	72.9	7.6	18.0	73.5	8.5	15.8	73.9	10.3
Rafael Uribe Uribe	28.8	65.9	5.3	26.7	67.3	6.0	24.2	68.3	7.5
Ciudad Bolívar	33.8	62.9	3.3	31.6	64.7	3.8	29.1	66.1	4.8
Sumapaz	34.3	59.8	5.9	31.6	61.6	6.9	28.7	62.7	8.6
Bogotá	27.1	67.4	5.5	25.2	68.7	6.1	22.9	69.5	7.5

Fuente: DANE-SDP, Proyecciones de Población por localidades 2006-2015.

Para 2009, Bogotá presentó una densidad de población equivalente a 175 personas por hectárea. Las localidades que presentaron mayor participación en cuanto a número de personas por hectárea fueron Rafael Uribe Uribe con 272, Kennedy con 259 y San Cristóbal con 249. Las de menor densidad son Fontibón (99), Chapinero (99) y Teusaquillo (101).

1.4 Desarrollo urbano

1.4.1 Crecimiento económico

Bogotá es la principal metrópoli del país en la que hasta 2007 se observó un crecimiento progresivo de la economía, el crecimiento económico de la ciudad fue superior al del país.

En la Tabla 3 se presentan los datos oficiales del Producto Interno Bruto (PIB) de Colombia entre 1994-2007 y los datos sobre la participación del PIB de Bogotá en el PIB nacional para cada uno de los años. Así mismo, se presentan los resultados sobre la tasa de crecimiento logarítmica para cada periodo y la tasa media de crecimiento logarítmica utilizada para proyectar las emisiones del sector industrial de la ciudad.

Tabla 3. Tasa de crecimiento del PIB real de Bogotá

Año	PIB Colombia (Millones de pesos)	Participación de Bogotá en el PIB nacional	PIB Bogotá (Millones de pesos)	Tasa de crecimiento logarítmica
1994	67,532,862	24%	163,743	0.026
1995	71,046,217	24%	168,073	-0.014
1996	72,506,824	23%	165,777	0.032
1997	74,994,021	23%	171,203	0.017
1998	75,421,325	23%	174,118	-0.115
1999	72,250,601	21%	155,249	0.036

Año	PIB Colombia (Millones de pesos)	Participación de Bogotá en el PIB nacional	PIB Bogotá (Millones de pesos)	Tasa de crecimiento logarítmica
2000	74,363,831	22%	160,979	0.013
2001	75,458,108	22%	163,113	0.042
2002	76,917,222	22%	170,073	0.032
2003	79,884,490	22%	175,669	0.066
2004	83,772,433	22%	187,722	0.054
2005	87,727,925	23%	198,057	0.212
2006	93,730,891	26%	244,899	0.075
2007	100,777,524	26%	263,977	
			Media	0.037
			Desviación	0.071

Fuente: DANE

1.4.2 Malla vial

La malla vial de Bogotá en diciembre de 2008, alcanzó 15,624 Km-carril, de los cuales el 94.6% (14,781 Km-carril) corresponden al subsistema vial y el 5.4% (843 Km-carril) al subsistema de transporte (troncales de Transmilenio).

El subsistema vial está conformado por la malla vial arterial⁴, que equivale al 19% del subsistema (2,803 Km-carril), la malla vial intermedia⁵, que corresponde al 28% (4,092 Km-carril) y la malla vial local⁶, que representa el 53% restante del total del subsistema (7,886 Km-carril) (IDU, 2008)

En la ciudad el estado de las vías⁷ es el siguiente: Malo 43%, que corresponde a 6,290 Km-carril, regular 23% con 3,405 Km-carril y bueno con 5,087 Km-carril, equivalente al 34%. En la Tabla 4 se presenta en detalle el estado del subsistema vial:

Tabla 4. Estado del subsistema vial

Malla vial	Estado de las vías					
	Bueno		Regular		Malo	
	Km-carril	%	Km-carril	%	Km-carril	%
Arterial	1,843.1	65	466.4	17	493.4	18
Intermedia	1,494.6	36	1,211.8	30	1,385.6	34
Local	1,749	22	1,726.4	22	4,411.0	56

Fuente: Datos IDU. Base de datos del inventario y diagnóstico de la malla vial. Diciembre de 2008.

Con respecto al subsistema de transporte, el 96% de las vías se encuentran en buen estado (811.4 Km-carril) y el 4% (31.2 Km-carril) en mal estado.

4 Es la red de mayor jerarquía, actúa como soporte de la movilidad y accesibilidad urbana y regional y de conexión con el resto del país.

5 Constituida por tramos viales que permean la retícula que conforma la malla vial arterial. Permite el acceso y la fluidez de la ciudad a escala zonal.

6 Permite la accesibilidad a las unidades de vivienda.

7 Para determinar el estado de las vías se calcula el Índice de Condición de Pavimento (IPC), el cual permite calificar la condición superficial de la estructura del pavimento.

Debe anotarse que las vías en regular y en mal estado son un factor importante de contaminación. Por una parte aportan como fuente dispersa de material particulado y por otra, contribuyen al incremento de emisión de gases contaminantes por fuentes móviles al reducir la velocidad de los vehículos.

1.4.3 Movilidad

El transporte en su conjunto actúa a nivel regional y urbano, como el gran catalizador de las actividades humanas que en estos espacios se desenvuelven. Difícilmente existen sectores urbanos que no dependan directa o indirectamente de esta actividad, que implica el desplazamiento de personas, bienes y servicios a través de una determinada infraestructura (entendida como la ofrecida para los diferentes modos) y una serie de equipos de transporte, que bajo unos estándares de servicio, costos de operación y tarifa final al usuario, mediados por la administración pública, permiten el desenvolvimiento de la actividad económica de una región. (Subsecretaría de planeación Territorial, 2010)

Bogotá, que está ubicada como la octava ciudad en términos de competitividad para la economía latinoamericana, comparte junto con la región que la rodea, una importante red de carreteras nacionales, que la conectan con los principales puertos del país.

La ciudad cuenta con un sistema de transporte urbano, Transmilenio, implementado por la empresa del mismo nombre y que fue creada por la Alcaldía Mayor de Bogotá. Transmilenio se diseñó como un sistema de metro basado en estaciones y vehículos articulados que utilizan una red de vías troncales segregadas, integrada a su vez a servicios alimentadores e intermunicipales. En paralelo más de 24,800 autobuses, busetas y microbuses de 66 empresas privadas continúan prestando gran parte del servicio de transporte colectivo. Bogotá cuenta además con una red de ciclorrutas de más de 300 km, la más extensa de Latinoamérica, para promover el transporte sustentable y reducir el uso del automóvil. (Mintransporte).

En relación con la distribución modal de los viajes en Bogotá y como se observa en la figura 13, predominan los viajes en transporte público colectivo y masivo, los cuales representan el 57.2% de los viajes totales incluyendo el alimentador, le siguen los viajes a pie con el 15.1% y en vehículo particular con el 14.7%. Debe anotarse, que la movilidad no motorizada (a pie y en bicicleta) alcanza una participación del 17.3%.

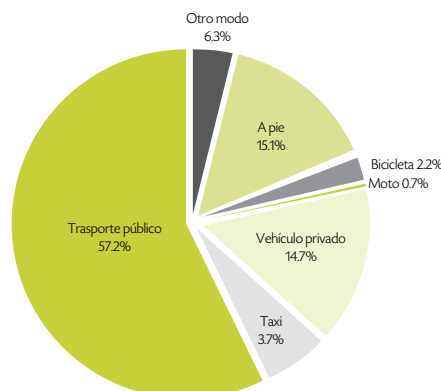


Figura 13. Distribución modal de viajes en Bogotá 2005*.

*Los viajes en alimentador y articulado de Transmilenio, se consideran como un viaje integral.

Fuente: Plan Maestro de Movilidad, resumen ejecutivo.

1.4.3.1 Transporte particular

El número de automóviles para Bogotá, crece más rápidamente que la población. El índice de motorización calculado por JICA en 1995 era de 88 vehículos/1000 habitantes y para 2008 se calculó que en Bogotá el índice de motorización aumentó a 144 vehículos/1000 habitantes, situación que se ve reflejada en la congestión vehicular en las horas pico, asociado también a que la construcción de la malla vial y el mantenimiento de la misma no va a la misma velocidad del incremento del parque automotor.

Entre 1985-2000 entraron 274,000 nuevos vehículos a Bogotá, con un crecimiento del 81.7% para un periodo de 15 años. Entre 1999 y 2008 la situación fue más alarmante con un ingreso de 496,000 vehículos nuevos, (vehículos matriculados en la ciudad) un 93% de crecimiento para un periodo de tan solo nueve años. Esta cifra no incluye los vehículos de la zona metropolitana ni vehículos de placas de otra ciudad que circulan en Bogotá, los cuales si fueron estimados en el inventario de fuentes móviles realizado para la formulación del PDDAB. Así mismo, no incluye el parque automotor de carga e intermunicipal que de otras ciudades del país ingresan diariamente a Bogotá. Cifras conservadoras podrían repercutir entre el 25 y el 30% del parque automotor adicional, lo que refleja un estimado superior a 1.3 millones de vehículos en la ciudad.

El crecimiento del parque automotor en los últimos 20 años ha sido acelerado frente al crecimiento de la población, tendencia que se acentúa en la capital del país. La tasa de motorización para el país pasa de 41 a 116 vehículos/ 1,000 habitantes, mientras en Bogotá pasó de 63 a 144 vehículos/1,000 habitantes.

Para el caso del parque automotor de motos, según estadísticas de la Secretaría Distrital de Movilidad, ingresaron entre 2004 y 2005 a Bogotá en promedio 33,000 motos por año, lo que implica una migración a transporte privado mucho más alta. En los últimos tres años, la cifra reportada da cuenta de más de 100,000 motocicletas ingresando en promedio al parque de motocicletas de la ciudad.

1.4.3.2 Transporte público

Como se mencionó anteriormente, la red de rutas de transporte público presenta dos componentes: el sistema de transporte público masivo Transmilenio y el Transporte Público Colectivo (TPC). Adicionalmente la ciudad cuenta con el servicio de transporte público individual.

Sistema Transmilenio

Transmilenio corresponde al sistema estructurante y su implantación se fundamentó en la necesidad de transformar el sistema convencional, induciendo una nueva forma de operación, fortalecimiento empresarial y gestión del sistema. La implantación de Transmilenio se está dando por etapas. A la fecha se encuentra terminada la fase II, y el proyecto de la fase III está en proceso de desarrollo; la fase I y fase II se encuentran en operación.

Transmilenio realiza 1500,000 viajes diarios, cuenta con 114 estaciones, 7 portales, 6 estaciones intermedias, 84 kilómetros troncales, 1,020 buses articulados, 73 rutas alimentadoras que sirven una red de 400 kilómetros de alimentación con 400 buses alimentadores y 1,478 ciclo parqueaderos.

Transporte público colectivo

El transporte público colectivo corresponde a las rutas que históricamente han existido en la ciudad, circulando en tránsito mixto y con una variada tipología de vehículos (buses, busetas, microbuses, colectivos).

El sistema de transporte público colectivo es operado por un total de 66 empresas operadoras-afiliadoras, con 508 rutas autorizadas a circular en el área urbana de la ciudad. La longitud promedio de ruta es de 48.2 Km., de acuerdo con la información del Plan Maestro de Movilidad, el número total de pasajeros transportados al día es de 4.7 millones.

De acuerdo con la información de la encuesta realizada por el DANE en 2006, en marco del desarrollo del Documento Técnico de Soporte del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá, se encontró que en la ciudad se realizan diariamente cerca de 9 millones de viajes, en transporte motorizado y no motorizado. De este valor el 80% corresponde a viajes en transporte motorizado y de estos el 80% a viajes en transporte público.

Transporte público individual

En la ciudad se realizan aproximadamente 350,000 viajes diarios en el transporte público individual. Las localidades de Usaquén, Chapinero, Suba y Teusaquillo generan y atraen en conjunto aproximadamente el 50% de todos los viajes que se realizan al día, es decir, estas localidades son las zonas más frecuentes del origen y destino de los viajes de los usuarios del transporte en taxi.

El servicio de taxi se autoriza con permiso de la Secretaria de Transito y Transporte (STT). La flota de taxis ha crecido en los últimos años pasando de un total de cerca de 40,540 taxis en 2002 a 45,724 en el 2005. (Movilidad)

1.4.3.3 Transporte de carga

En Bogotá se mueven cerca de 241,000 toneladas de carga al día, de las cuales, entran 128,980 (53,6%) y salen 111,606 (46,4%), lo que significa que la ciudad consume cerca de 17,000 toneladas diarias de diferentes productos. El mayor volumen de camiones se dedica al transporte de alimentos y productos agrícolas.

De acuerdo con las encuestas realizadas en 2007 por la consultoría BCEOM dentro del estudio "Centros de Actividad Logística de Carga de Bogotá (CALCAB), se tiene un total de 12,514 camiones entrando a Bogotá y 12,744 saliendo en un día. Así mismo, la vía de mayor demanda de vehículos de carga es la avenida Centenario (Calle 13) con más de 7,500 vehículos entrando y saliendo.

En términos del tipo de vehículo, la mayor representación se tiene con el camión grande de dos ejes (C2P), con cerca de 2,700 entradas y salidas, a pesar de que considerando la normatividad vigente los camiones de alta capacidad deben transitar por la red vial principal con las restricciones impuestas (Decreto 112 de 1994): Para vehículos mayores de 5 toneladas de lunes a viernes en la red principal comprendida en el área entre la calle 170 y la avenida Primero de Mayo, entre la Boyacá y los cerros orientales: de 6:30 a 9:00 de la mañana y de las 18:00 a las 20:00 horas de la noche.

1.4.3.4 Futuro de la movilidad

En 1994 se inició el "Estudio del Plan Maestro de Transporte Urbano de Santa Fe de Bogotá", financiado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) y ejecutado por la firma Chodai Co. Ltda en asocio con Yachiyo Engineering Co. Ltda., el cual se entregó en diciembre de 1996.

Como resultado, se obtuvo la recomendación de la implantación de un Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM), como elemento fundamental para mejorar sustancialmente las condiciones de transporte urbano de pasajeros de Bogotá.

El SITM está conformado por la combinación de redes integradas y jerarquizadas de transporte colectivo. Se compone del metro, (sistema rígido y que responde a las mayores concentraciones de demanda), de rutas de buses en troncales, de rutas de buses estructurantes, de líneas de buses suburbanas y de rutas de buses alimentadoras flexibles.

Esta combinación del sistema masivo rígido con sistemas flexibles permite responder a los diferentes niveles de demanda, maximizar la cobertura espacial y ofrecer complementariedad entre los diferentes modos.

El Plan Maestro de Movilidad (PMM) fue adoptado por la actual administración mediante el Decreto 319 de 2006 y establece programas, proyectos y metas, a corto, mediano y largo plazo, con un horizonte a 20 años. El PMM da respuesta a las necesidades de movilidad y al uso racional y eficiente de los 15,348 kilómetros carril que componen la malla vial de Bogotá.

Las principales iniciativas del Plan Maestro de Movilidad son:

- Articulación del Sistema Integrado de Transporte conformado por el transporte colectivo y masivo en una sola estructura física, operacional y tarifaria.
- Establecimiento de corredores viales para la operación de rutas de alta capacidad, media capacidad y complementarias de baja capacidad interna y externa.
- Conformación de zonas y corredores de actividad logística para mejorar la movilidad y productividad en Bogotá y la Región. Los vehículos de carga provenientes de otras ciudades, durante las 24 horas del día y los 7 días a la semana, dispondrán de corredores viales específicos para tener acceso a sus lugares de origen y destino y al interior de la ciudad.
- Implementación de una primera fase de cinco grandes redes peatonales en: Calle 53 entre carreras 30 y 7, Calle 45 entre las Universidades Nacional y Javeriana, sector del Parque Simón Bolívar, avenida I de Mayo de la carrera 59 a la avenida Boyacá y Parque de la 93. El Plan busca implementar redes peatonales en toda la ciudad y fortalecer las ciclorrutas en procura de mejorar la calidad de vida en Bogotá.
- Construcción de intercambiadores modales que permitan a los habitantes de Bogotá y la Región llegar a sus lugares de destino complementando su viaje con diferentes modos de transporte como la bicicleta, Transmilenio, vehículo particular, taxi, bus, o sencillamente caminando.
- Consolidación de una red de estacionamientos, en vía y fuera de vía. Se priorizarán los estacionamientos aledaños a las zonas de prestación del servicio del Sistema Integrado de Transporte con un esquema tarifario que motive a los conductores a estacionar el vehículo y utilizar el transporte público. La organización de estacionamientos incluye la zona de residentes, zonas de comercio zonal y vecinal en temporadas específicas, zonas de cargue y descargue y zonas para las categorías restantes de usuarios.
- Creación del Sistema Integrado de Información de Movilidad Urbano Regional (SI MUR) que facilite la comunicación y el intercambio de información entre los actores (peatón, ciclista, pasajeros y conductores) y los componentes de la movilidad (infraestructura, vehículos, empresas) en un centro de control de tráfico, a la altura de las grandes ciudades del mundo. (Secretaría de Movilidad, 2006)

El Sistema Integrado de Transporte Público (SITP)

El objetivo principal del Sistema Integrado de Transporte Público para Bogotá es la prestación de un servicio de transporte público eficiente, digno y económicamente factible, con cobertura del 100% y con integración física y tarifaria.

El SITP integrará el Sistema de Transporte Masivo Transmilenio y el Transporte Público Colectivo, que en la actualidad prestan el servicio de transporte en la ciudad, en condiciones institucionales, operacionales y de control totalmente distintas.

El SITP operará en corredores viales jerarquizados, dependiendo de su función y el tipo de infraestructura requerida para tal fin: estaciones, patio, talleres e intercambiadores modales, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el POT y el PMM.

La propuesta de implementación del SITP está estructurada por fases consecutivas que permitirán avanzar en forma gradual. La conformación paulatina del sistema pretenderá evitar los traumatismos del cambio para los usuarios; además generará el aprendizaje del operador con la nueva estructura y, en paralelo, obedecerá a los tiempos mínimos que se requieren para poner en funcionamiento los diferentes componentes del sistema y permitirá al gestor conocer con profundidad las características de la oferta y demanda del sistema.

1.4.4 *Consumo energético*

Bogotá concentra una serie de sectores económicos con impacto en el PIB Nacional y que establecen en el balance energético del país una fuerte posición del distrito, con una participación para 2007 alrededor del 20.7% del consumo nacional (231,810 Tcal). Entre tales sectores sobresalen el transporte con el 46.4% del consumo, seguido del sector industrial con el 14.2% y residencial con 19.8%, que comportan cerca del 80% del consumo total distrital; los sectores comercial, público, minero, agrícola y de construcción presentan la menor participación.

El establecimiento de una serie temporal de datos de consumo de los diferentes combustibles para Bogotá, en forma específica y su participación en el consumo en los procesos de combustión en la industria y en el transporte, no es una tarea sencilla, sin embargo, un estudio que presenta información ponderada, sobre la base del Balance Energético UPME 1997-2006, en relación al consumo de energéticos desde diferentes sectores (CCB-SDA & Amaris, 2008) presenta un buen acercamiento a la jerarquización en el consumo de energéticos por sector.

La gasolina motor, diesel oil, kerosene-jet fuel, gas natural y alcohol carburante son los energéticos con mayor consumo en el sector transporte, con un aporte del 96.8% para 2007, lo cual demuestra una gran dependencia de combustibles fósiles. Los energéticos limpios presentan una menor participación en su demanda.

Los energéticos con mayor demanda por el sector industria están representados en el gas natural, energía eléctrica y carbón mineral, mientras que en el sector residencial la energía eléctrica, el gas natural y el gas licuado de petróleo son los más demandados (92.2%). (Véase CCB-SDA & Amaris, 2008).

1.5 **Efectos de la contaminación atmosférica en la salud**

La variable ambiental es uno de los factores determinantes en el proceso salud- enfermedad, siendo la contaminación atmosférica una de las variables dentro de la categoría ambiental.

1.5.1 *Efectos en la salud debidos a partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros*

Son varios los efectos a la salud que los contaminantes atmosféricos pueden provocar. Por una parte, se encuentra el material particulado que puede penetrar directamente al sistema respiratorio, llegando hasta la zona traqueobronquial para el caso de PM_{10} , o hasta los alvéolos pulmonares para el caso de $PM_{2.5}$. Las enfermedades asociadas a material particulado son asma, bronquitis, infecciones respiratorias y en poblaciones sensibles ataques cardiacos y arritmia. Entre otros, los síntomas relacionados corresponden con dolor de garganta, tos, dolor de cabeza y sibilancias.

Según los registros de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, la enfermedad respiratoria es la principal causa de mortalidad infantil en la ciudad; al año se producen cerca de 600 mil atenciones en salud por Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) en niños menores de cinco años. (Hernández, y otros, 2010).

En la tabla 5 se presentan los efectos asociados a la exposición a material particulado como contaminante criterio.

Tabla 5. Efectos en la salud asociados a la exposición a contaminantes criterio de contaminación atmosférica.

Contaminante	Efectos agudos	Generalidades
Material particulado	<p>Puede agravar la enfermedad pulmonar. Bronquitis aguda. Ataque de asma. Aumento de la susceptibilidad a sufrir infecciones respiratorias. En población sensible ataques cardiacos y arritmia.</p>	<p>El material particulado entre 5 -50 μm es retenido por la nariz y la faringe.</p> <p>Las partículas de 1 a 5 μm ingresan a la región bronquial. Los alveolos son afectados por partículas de diámetro menor a 0,5μm. Partículas menores a 0,05μm son exhaladas.</p> <p>Las partículas pueden causar la irritación e inflamación de los alveolos y el endurecimiento de las vías respiratorias resultando en una pérdida de la función pulmonar al reducir la capacidad de intercambio de oxígeno.</p> <p>Las partículas pueden llegar al torrente sanguíneo y causar problemas cardiovasculares.</p>
	Efectos crónicos	
	<p>Reducción de la función pulmonar. Desarrollo de bronquitis crónica. Suele asociarse con el desarrollo de cáncer pulmonar. Muerte prematura.</p>	

Fuente: SDA-Unisalle 2008

1.5.2 Efectos en la salud debidos al monóxido de carbono

De acuerdo con el estudio "Epidemiología Ambiental: Un proyecto para América Latina y el Caribe" elaborado por el Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud en asocio con la OMS, la OPS y EPA, los efectos generados por la exposición a monóxido de carbono corresponden a un incremento de dolor en el pecho (angina) que se relaciona con la disminución de la duración del ejercicio máxima a corto plazo en hombres jóvenes sanos; la exposición a este contaminante en ambientes internos puede ser mortal (muerte dulce) pues impide que el oxígeno llegue a órganos vitales. (Véase OPS-OMS, 1994).

1.5.3 Efectos en la salud debidos al dióxido de nitrógeno

La exposición a dióxido de nitrógeno promueve cambios en la función pulmonar y un aumento en la resistencia de vías aéreas en sujetos sanos, también se consideran otros posibles efectos relacionados a inflamación del pulmón y cambios inmunológicos.

1.5.4 Efectos en la salud debidos al ozono

Por su parte la exposición al ozono da lugar a una disminución en la función pulmonar en niños, adolescentes y adultos que se ejercitan en exteriores (OPS-OMS, 1994); se asocia entre otra sintomatología irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad y dolor durante la respiración profunda.

1.5.5 Efectos en la salud debidos a la exposición a óxidos de azufre

Los óxidos de azufre también generan efectos en el sistema respiratorio incrementando la resistencia aérea específica de vías respiratorias y broncoconstricción.

1.5.6 Efectos acumulativos

Es del caso mencionar que la exposición a PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, CO , NO_2 , O_3 , entre otros, trae en combinación, efectos acumulativos que contribuyen con la disminución de la función pulmonar de la población expuesta, por ejemplo algunos estudios han asociado que la exposición simultánea a largo plazo a partículas y a SO_2 contribuye al desarrollo de bronquitis obstructiva. (Véase OPS-OMS, 1994).

A large, stylized number '2' is positioned on the left side of the page, spanning across the dark blue and teal background sections. It is rendered in a light blue-grey color with a slight gradient.

Antecedentes normativos

Con la expedición del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente –Decreto Ley 2811 de 1974 se reconoce que corresponde al Gobierno mantener la atmósfera en condiciones que no causen molestias o daños o interfieran el desarrollo normal de la vida humana, animal o vegetal y de los recursos naturales renovables.⁸ Adicionalmente en la Ley 23 de 1973⁹, que enmarca la contaminación del aire, se destaca como uno de los factores que deterioran el ambiente.¹⁰

Esta norma estimó que para prevenir la contaminación atmosférica se dictarían, normas concernientes a:

- La calidad que debe tener el aire como elemento indispensable para la salud humana, animal o vegetal; el grado permisible de concentración de sustancias capaces de causar perjuicios o deterioro en los bienes, en la salud humana, animal o vegetal.
- Establecimiento de estaciones o redes de muestreo para localizar las fuentes de contaminación atmosférica y detectar su peligro actual o potencial.¹¹

Es importante resaltar que con la expedición de la Ley 9ª de 1979 -Código Sanitario, el control de la contaminación atmosférica se visualiza como un tema sanitario y por ello se delega en el Ministerio de Salud la potestad de fijar las normas sobre calidad del aire, teniendo en cuenta los postulados establecidos en esa Ley y en los artículos 73 a 76 del Decreto-Ley 2811 de 1974.¹²

En cumplimiento de esta previsión normativa, en 1982 el Ministerio de Salud expidió el Decreto 02, en él se definió el concepto de calidad del aire y se fijó la norma de inmisión para partículas en suspensión, dióxido de azufre, monóxido de carbono, oxidantes fotoquímicos expresados como ozono y óxidos de nitrógeno (medidos como dióxido de nitrógeno NO₂).¹³

En 1991 la protección del medio ambiente se elevó a rango constitucional, en una Carta Política considerada como una verdadera Constitución Ecológica¹⁴ la cual establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente y que prevé, entre otras cosas, que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento

8 Artículo 73 del Decreto-Ley 2811 de 1974.

9 Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

10 Artículo 8º del Decreto-Ley 2811 de 1974.

11 Artículo 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974.

12 Artículo 41 de la Ley 9ª de 1979.

13 Mediante Resolución 19622 del 31 de Diciembre de 1985, el Ministerio de Salud adoptó el procedimiento para la evaluación del Dióxido de Azufre expresado como SO₂, en el aire ambiente y mediante la Resolución 2308 del 24 de Febrero de 1986 adoptó el procedimiento para la evaluación de partículas en suspensión, en el aire ambiente.

14 Ver, entre otras, la Sentencia C-126 de 1998 de la Corte Constitucional.

de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.¹⁵

A partir de la Constitución Política, mediante la Ley 99 de 1993, se creó el Ministerio de Ambiente, y se reordenó el Sistema Nacional Ambiental, se otorgó a la Autoridad Ambiental urbana las mismas funciones atribuidas a las corporaciones autónomas regionales, en los temas relativos al medio ambiente urbano, dentro de los cuales se encuentra el control de la contaminación atmosférica.¹⁶

El cambio de visión sobre las normas aplicables a la disminución de la contaminación atmosférica se concretó con la expedición del Decreto 948 de 1995, el cual reglamentó parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974 y la Ley 9ª de 1979. Este reglamento tiene por objeto definir el marco de las acciones y mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire y reducir el deterioro ocasionado al medio ambiente y a la salud humana por la emisión de contaminantes al aire y procurar, bajo el principio de desarrollo sostenible, elevar la calidad de vida de la población.¹⁷

El artículo 10º del Decreto 948 de 1995, previó que correspondería al Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT) establecer mediante resolución, la concentración y el tiempo de exposición de los contaminantes para cada uno de los niveles excepcionales de calidad del aire, reglamentación que sólo se dictó con la Resolución 601 de 2006, como se explica más adelante.

Por otro lado, el Decreto 948 de 1995 estableció las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión, dentro de las cuales se permitió a las autoridades ambientales locales adoptar normas específicas de calidad del aire, en virtud del **Principio de Rigor Subsidiario**, en virtud del cual las normas y medidas de policía ambiental podrán hacerse sucesiva y respectivamente más rigurosas, pero no más flexibles, por las autoridades competentes del nivel regional, departamental, distrital o municipal, en la medida en que se desciende en la jerarquía normativa y se reduce el ámbito territorial de las competencias, cuando las circunstancias locales especiales así lo ameriten.¹⁸

La Ley 9ª de 1979 y el Decreto 02 de 1982 son las normas que explican por qué el control de la contaminación atmosférica y la operación de las Redes de Vigilancia de Calidad del Aire se encontraba en cabeza de las autoridades de salud, aún con posterioridad a la expedición de la Ley 99 de 1993.¹⁹

Posteriormente el Concejo del Distrito Capital de Bogotá, expidió el Acuerdo 19 de 1996, por el cual se adoptó el Estatuto General de Protección Ambiental del Distrito Capital. En el numeral 2º del artículo 10 de este Acuerdo se asignaron competencias al Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) como Autoridad Ambiental dentro del perímetro urbano, para establecer niveles permisibles de calidad ambiental y normas técnicas para la fijación de estándares, factores, descargas o niveles permisibles de emisión de contaminantes al aire.

Dado que existían las normas del orden nacional y distrital que atribuían el monitoreo de la calidad del aire a la Autoridad Ambiental urbana, una de las transiciones del manejo eminentemente sanitario hacia el énfasis ambiental, se consolida en 1997, con la entrada en operación de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

Más adelante, con la expedición de la Resolución DAMA 391 de 2001, Bogotá modificó el Decreto 02 de 1982, atendiendo a las nuevas condiciones ambientales y tecnológicas y dictó una regulación especial para la ciudad, en la cual incluye normas técnicas y estándares ambientales para la prevención y

15 Artículo 79 y 80 C.P.

16 Artículo 66 de la Ley 99 de 1993.

17 Artículo 1º del Decreto 948 de 1995.

18 Artículo 63 de la Ley 99 de 1993. Ver Sentencia de la Corte Constitucional C-554 de 2007.

19 Como se evidenció en la Sentencia T-220 de 1995, en la cual la Corte Constitucional revisó el fallo proferido en relación con el Expediente T-51933.

control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire en el perímetro urbano. Una de las innovaciones de esta norma radica en que, en virtud del Principio de Rigor Subsidiario, no sólo hizo más estricta la norma de calidad del aire vigente a nivel nacional, sino que, entre otras cosas, incluyó la norma para uno de los contaminantes cuyo monitoreo cobraba importancia para la ciudad por sus conocidas asociaciones con salud. Es así como surgió dentro de la regulación ambiental local, el estándar para el Material Particulado inferior o igual a diez micras (PM_{10}). Vale resaltar dentro de las innovaciones de la norma, que en atención al **Principio de Progresividad Ambiental**, según el cual *los objetivos ambientales deberán ser logrados en forma gradual, a través de metas interinas y finales, proyectadas en un cronograma temporal que facilite la adecuación correspondiente a las actividades relacionadas con esos objetivos*²⁰, la Resolución 391 de 2001, determinó no sólo los límites y concentraciones de contaminantes, sino unos términos progresivos de cumplimiento, para lo cual fijó la norma de inmisión que regiría en los años 2001, 2003, 2006 y 2010.

Posteriormente, con base en la experiencia recogida por la Autoridad Ambiental en 2 años de vigencia de la Resolución 391 de 2001, y teniendo en cuenta los comentarios y observaciones sobre la aplicación de la citada norma, el DAMA expidió la Resolución 1208 de 2003, por la cual se dictaron las normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire, aplicables dentro del perímetro urbano del Distrito Capital, norma con la cual quedó derogada la Resolución 391 de 2001.

Cabe señalar que la Resolución DAMA 1208 de 2003, mantuvo un cronograma de cumplimiento de las normas de calidad del aire, atendiendo, entre otros, a los plazos en los cuales se daría la reducción de los porcentajes de azufre en el diesel que se distribuiría en la ciudad, los cuales había establecido la norma de calidad de combustibles expedida por el Ministerio de Minas y Energía y el MAVDT, vigente para ese momento.

En este mismo sentido, dentro del Plan de Gestión Ambiental del Distrito (2001-2009), adoptado mediante Decreto 061 de 2003, se estableció como uno de los objetivos de calidad ambiental *«mejorar la calidad del aire que respiran los habitantes de la ciudad, cumpliendo, como mínimo, con las normas nacionales y estándares internacionales (Organización Mundial de la Salud - OMS), apuntando a generar condiciones propicias para la salud y bienestar de la ciudadanía y garantizar la equidad en la distribución de los costos derivados de los impactos y el control de la contaminación atmosférica»*. Este objetivo implica tanto el control de emisiones de las fuentes móviles y fijas, como el de la calidad del aire resultante de la interacción de estos factores con los procesos meteorológicos y químicos en la atmósfera.

En el 2005, se expidió el Documento CONPES 3344, por el cual se dictan *“Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”*, en el cual se incluye un diagnóstico que reconoce que el país no cuenta con lineamientos nacionales para la formulación de estrategias coordinadas, eficientes y equitativas, dirigidas a prevenir y controlar la contaminación del aire y se recomendó la creación de la Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Prevención y Control de la Contaminación del Aire-CONAIRE²¹.

El 4 de abril de 2006, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), siguiendo los lineamientos del CONPES 3344 de 2005, mediante la Resolución 601 estableció la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, los procedimientos para su medición, los programas de reducción de la contaminación del aire, los niveles de prevención, alerta y emergencia y las medidas generales para su mitigación. Debe precisarse que la Resolución MAVDT 601, empezó a regir el 4 de julio de 2006²².

Continuando con la tendencia internacional de progresividad que había sido recogida por el Distrito Capital, la Resolución MAVDT 601 de 2006, estableció el límite permisible anual de PM_{10} para los años 2006, 2009 y 2011. Para este último año el límite se fija siguiendo los parámetros de la norma EPA.²³

20 Ley 25.675 de 2002, conocida como la Ley General del Ambiente de la República Argentina.

21 El CONAIRE fue creado y reglamentado mediante el Decreto 244 de 2006.

22 Artículo 15 de la Resolución MAVDT 601 de 2006.

23 Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos.

Dentro de los avances de esta norma, el Ministerio señaló que las autoridades ambientales deberían iniciar las mediciones de $PM_{2.5}$, cuando por las concentraciones de PST y PM_{10} , por mediciones directas de $PM_{2.5}$ o por medio de estudios técnicos, identifiquen probables afectaciones a la salud humana. Para tal efecto, deberán tomar como valor la guía los estándares de la EPA ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración anual a partir de la media aritmética y de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración diaria). De otro lado se previó que las autoridades ambientales deben realizar las mediciones de los contaminantes criterio de acuerdo con los procedimientos, frecuencias y metodología establecidas en el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire, elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).²⁴

Con el fin de garantizar el **Principio de Participación Ciudadana**²⁵, la norma obliga a las autoridades ambientales a informar al público, por lo menos cada tres meses a través de los medios de comunicación²⁶, sobre la calidad del aire de todos los parámetros e indicadores establecidos, presentando sus valores, su comparación con los niveles máximos permisibles, su significado y sobre el medio ambiente en el área de influencia.²⁷

Posteriormente mediante el Decreto 456 de 2008 se reformó el Plan de Gestión Ambiental del Distrito Capital (2008-2038) para adaptarlo conforme a la nueva estructura administrativa, no obstante se mantiene el objetivo de calidad del aire.

En 2010 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial modifica la Resolución 601 de 2006, emitiendo de esta manera la Resolución MAVDT 610 de 2010, los principales cambios realizados son la revaloración de los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio, contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos y los umbrales para las principales sustancias generadoras de olores ofensivos. En cuanto a la articulación de competencias en esta resolución se exige que las autoridades ambientales informen a las autoridades de salud, en los casos en los que los contaminantes en el aire puedan generar problemas a la salud de la población. Artículo 15 de la Resolución MAVDT 601 de 2006²⁸.

En este marco normativo se presenta un gran avance relacionado con la metodología para realizar el monitoreo y seguimiento a la calidad del aire, donde establece que se debe realizar el protocolo nacional, el cual es adoptado por la Resolución MAVDT 0650 de 2010.

Marco normativo general aplicable a la declaratoria de áreas fuente de contaminación atmosférica y a los estados de prevención, alerta o emergencia.

El Decreto Nacional 979 del 3 de abril de 2006, modificó parcialmente el Decreto 948 de 1995, en artículos relacionados con la regulación de la calidad del aire, verbigracia, los distintos niveles periódicos de inmisión, los niveles de prevención, alerta o emergencia, y las áreas fuentes de contaminación atmosférica, entre otros.

La información suministrada por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire juega un papel fundamental en el cumplimiento de las normas del orden nacional dentro de las que se encuentran el Decreto 979 de 2006, modificadorio del Decreto 948 de 1995 y las Resoluciones MAVDT 601 de 2006 y 610 de 2010, toda vez que constituye el sustento técnico imprescindible para que la autoridad ambiental declare un estado excepcional de contaminación atmosférica o un área-fuente, pero asimismo es el instrumento de medición para el seguimiento, que permite viabilizar el levantamiento de estas declaratorias cuando se demuestra que la calidad del aire se encuentra dentro de sus niveles normales.

El artículo 108 del Decreto 948 de 1995, modificado por el artículo 5° del Decreto 979 del 03 de Abril de 2006, establece que las autoridades ambientales competentes deberán clasificar como áreas-

24 Artículo 4° de la Resolución MAVDT 601 de 2006.

25 Artículo 79 C.P. "...La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo".

26 Para Bogotá esta información es suministrada a través de la página web www.secretariadeambiente.gov.co

27 Artículo 8° de la Resolución MAVDT 601 de 2006.

28 Artículo 5° Resolución 601 del 4 de abril de 2006

fuelle de contaminación, zonas urbanas o rurales del territorio nacional, según la cantidad y características de las emisiones y el grado de concentración de contaminantes en el aire, a partir de mediciones históricas con que cuente la autoridad ambiental, con el fin de adelantar los programas localizados de reducción de la contaminación atmosférica.

Según lo dispuesto en el Decreto 979 de 2006 y las Resoluciones 601 de 2006 y 610 de 2010, el área-fuente de contaminación es una zona geográfica que por sus mediciones históricas excede la norma de calidad de aire, mientras que los estados de prevención, alerta o emergencia se refieren a episodios de contaminación que pueden durar minutos, horas o días.

Cabe aclarar que por estas diferencias, la Autoridad Ambiental puede declarar un área-fuente de contaminación sin haber decretado un estado de prevención y a su vez un nivel de prevención puede presentarse aunque no se haya declarado una zona como área-fuente.

Antecedentes y marco normativo aplicable a la declaratoria de áreas fuente de contaminación alta clase I en Bogotá D. C.

Las áreas-fuente de contaminación alta (Clase I), son aquellas en la cuales la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación o dispersión, excede con una frecuencia igual o superior al 75% de los casos de la norma de calidad anual. Según el Decreto 979 de 2006 en estas áreas deberá tomarse medidas de contingencia, se suspenderá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptarán programas de reducción de la contaminación que podrán extenderse hasta por 10 años. En esta norma el Gobierno Nacional concedió un término de seis meses para hacer la respectiva clasificación, plazo que venció en octubre de 2006.

De acuerdo a los datos obtenidos por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá, la concentración promedio anual de PM₁₀ mostró excedencias del 75% respecto a la norma de inmisión establecida en la Resolución 1208 de 2003²⁹, en las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy.

Bajo estas condiciones, en el año 2006 la Autoridad Ambiental urbana enfrentó grandes retos. Por un lado un término perentorio para realizar la clasificación de la ciudad y una información técnica ambiental que demostraba excedencias en la norma para PM₁₀ en un vasto sector de su territorio, y por otro lado, un interrogante ¿Cómo hacerlo?; lo anterior teniendo en cuenta que el principal desafío consistía en que, para ese momento, en Colombia nadie lo había hecho, pues si bien la norma establecía unas directrices generales, la adopción de las medidas de contingencia dependían de las condiciones propias de la respectiva jurisdicción.

Así las cosas, el artículo 2° del Decreto 948 de 1995, permitió acudir a experiencias internacionales exitosas, por ello las respuestas se buscaron en un análisis técnico comparativo de la situación de contaminantes en ciudades latinoamericanas con problemas similares, que permitieron concluir que la disminución de la contaminación del aire se logra con el estricto control sobre las fuentes de emisión, la progresividad en los programas de reducción de la contaminación, la expedición de las normas de calidad de aire, el énfasis en el monitoreo de contaminantes, la adopción de tecnologías más limpias para la industria y el transporte, fortalecimiento de los programas de autorregulación y por supuesto el mejoramiento de la calidad de los combustibles.

Dado que el mejoramiento de la calidad de los combustibles, en particular en lo referente al diesel distribuido en la ciudad, escapan a la competencia de las autoridades distritales³⁰, las medidas de contingencia a adoptar para Bogotá, debieron centrarse en los asuntos propios de su competencia

29 Norma vigente al momento de expedición del Decreto 979 de 2006.

30 Esta competencia radica en el Gobierno Nacional. Ver Resolución 898 del 23 de agosto de 1995 adicionada por la Resolución 125 del 7 de febrero de 1996, modificada parcialmente por las resoluciones 623 del 9 de julio de 1998, 0068 del 18 de enero de 2001, 0447 del 14 de abril de 2003, 2200 de 2005 y demás modificatorias expedidas por los Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y de Minas y Energía, por las cuales se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.

y enfocarse en el control de las fuentes fijas y móviles de emisión, la actualización del inventario de emisiones, el mantenimiento de la malla vial, los planes de arborización y la coordinación interinstitucional entre las distintas entidades del Distrito, buscando con esta última estrategia el acercamiento en el ámbito local con la comunidad afectada por esta problemática ambiental³¹.

Teniendo en cuenta lo anterior, se reconoció que en aras de garantizar la calidad del aire a los habitantes del Distrito Capital, las fuentes de emisión de contaminantes debían tener un control prioritario, por tal razón las empresas y el transporte, tienen una corresponsabilidad en la disminución de la contaminación, que se deriva del precepto constitucional de la **función ecológica de la propiedad**³² y aquel según el cual la libertad económica y la iniciativa privada están condicionadas al límite del bien común³³, y por tanto a la protección del medio ambiente.

Dentro de este marco, el Alcalde Mayor de Bogotá mediante los Decretos Distritales 174 y 417 de 2006, clasificó las áreas-fuente de contaminación alta clase I de la ciudad, y adoptó las medidas de contingencia para reducir la contaminación, para los siguientes sectores de la ciudad:

Por PM₁₀: Las localidades de Kennedy, Puente Aranda, Fontibón, Engativá, Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe y a las UPZ 27, 28 y 71 de la localidad de Suba y la zona que se extiende al occidente de los cerros de Suba, hasta el perímetro urbano del Distrito Capital y entre la UPZ 27 y la calle 200.

Por PST: La localidad de Bosa y las UPZ 65 y 69 de la localidad de Ciudad Bolívar.

En cuanto a las fuentes móviles las discusiones sobre la ampliación del pico y placa adquirieron un matiz ambiental sin precedente. Por decisiones administrativas³⁴ y judiciales³⁵ para ese momento no era posible implementar la revisión anual de gases, ni exigir que los vehículos cumplieran con unos límites permisibles más estrictos que los establecidos en la norma nacional. En razón a ello se exploró dentro de la normatividad vigente y se determinó que el artículo 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974 había previsto la posibilidad de restringir la circulación de vehículos como medida para reducir la contaminación atmosférica.

En consecuencia dentro de los artículos 8° y 10° del citado Decreto 174 de 2006, se adoptaron las medidas para reducir la contaminación generada por fuentes móviles, y se impusieron restricciones de circulación al transporte público colectivo y a los vehículos de carga, en todo el perímetro urbano del Distrito Capital.

El horario de la restricción responde a un análisis de los datos suministrados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, en los cuales se detectaron los picos de contaminación.

No obstante el gobierno distrital adoptó las restricciones vehiculares contenidas en el Decreto 174 de 2006; es necesario tener en cuenta que estas restricciones no son absolutas, por cuanto la mencionada norma acoge la posibilidad de eximirse de esta restricción siempre y cuando las empresas de transporte público colectivo y de carga, presenten ante la Secretaría Distrital de Ambiente un programa de autorregulación ambiental que deberá ser debidamente aprobado. La importancia de

31 Principio “Pensar global, actuar local”, puesto que la experiencia indica que la mejor manera de resolver las cuestiones es en el ámbito local, porque es allí donde mejor se perciben los problemas. ESAIN, José Alberto. El reparto de competencias en materia ambiental en la Constitución Nacional Argentina. El federalismo ambiental (Cuarta Parte).

32 La función ecológica es una limitación al derecho de propiedad que pretende garantizar la calidad de vida de las personas, la protección de los recursos naturales y la implementación del desarrollo sostenible, es decir que la función ecológica intenta proteger el entorno y los ecosistemas, en aras de hacer efectivos los derechos ambientales. UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO. Propiedad, Conflicto y Medio Ambiente. Bogotá, 2005.

33 Artículo 333 de la Constitución Política.

34 Mediante la Resolución MAVDT 1595 del 26 de Octubre de 2005, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial decidió de forma definitiva no ampliar la vigencia ni dar el carácter de permanente a las medidas adoptadas en la Resolución DAMA 1015 de 2005, por la cual la autoridad ambiental urbana había fijado unos niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por las fuentes móviles con motor a gasolina y diesel, más estrictos que los establecidos en la norma nacional aplicables al ámbito de su jurisdicción.

35 Suspensión Provisional dictada dentro de la Acción de Simple Nulidad 200400491. Tribunal Administrativo de Cundinamarca, Sección Primera Subsección B, que profirió el Auto del 17 de Junio de 2004

esta norma radica en el hecho de combinar, conforme a experiencias internacionales, mecanismos de comando y control (restricciones) con sistemas de autogestión (autorregulación)³⁶.

El DAMA, hoy Secretaría Distrital de Ambiente, mediante Resolución 1869 de 2006, adoptó los términos de referencia para la aprobación de los Programas de Autorregulación Ambiental, aceptando unos períodos progresivos de cumplimiento de la flota, que implican una gestión ambiental en el sector transportador. Dentro del programa las empresas se comprometen a mantener el parque vehicular diesel, al menos un 20% por debajo de los niveles de opacidad establecidos en la normatividad vigente.

Para las fuentes fijas se estableció la necesidad de contar con una norma de límites permisibles más estrictos para las fuentes fijas de emisión localizadas en las áreas-fuente de contaminación, lo cual se concretó en la expedición de la Resolución DAMA 1908 de 2006, la cual surtió el trámite de rigor subsidiario ante el MAVDT vigente para ese momento, quien se pronunció sobre su permanencia parcial mediante la Resolución MAVDT 2302 de 2006.

De igual forma, se ordenó suspender el funcionamiento de las fuentes fijas de emisión instaladas en las áreas-fuente que utilicen combustibles sólidos y crudos pesados, y no cuenten con sistemas de control de emisiones para material particulado, instalados y funcionando y sus emisiones superen el nivel máximo de emisiones de Partículas Suspendidas Totales (PST) para las fuentes fijas de combustión externa definidas en la normatividad vigente.

Habida cuenta que las áreas-fuente de contaminación son zonas en las que se han detectado excedencias recurrentes de la norma de calidad del aire, era necesario suspender el establecimiento de nuevas fuentes fijas de emisión salvo que cuenten con un concepto técnico previo de viabilidad, que deberá ser otorgado por la autoridad ambiental y exigido por las autoridades distritales³⁷ que permitan la instalación y operación de este tipo de establecimientos.

Es pertinente aclarar que el Decreto 174 de 2006 ordenó al DAMA, adoptar las medidas tendientes a prohibir el uso de aceites usados, o sus mezclas en cualquier proporción, como combustible en calderas y hornos, así como en la fabricación de aceites lubricantes, disposición que fue incluida en la Resolución DAMA 1908 de 2006; no obstante el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, dentro del trámite de rigor subsidiario vigente para ese momento³⁸, decidió no prorrogar ni dar carácter permanente a esta norma. (SDA-Unisalle, 2008)

³⁶ Los Programas de Autorregulación Ambiental involucran sistemas de autogestión por parte del sector privado, con el acompañamiento de la autoridad ambiental en el proceso de verificación del cumplimiento de las metas trazadas. Estos mecanismos de autorregulación han mostrado alto nivel de eficacia por cuanto son las propias empresas las que buscan una producción y prestación de servicios ambientalmente más eficientes.

³⁷ Verbigracia, las Curadurías Urbanas cuando expidan las respectivas licencias de construcción.

³⁸ El trámite para aplicar el Principio de Rigor Subsidiario fue declarado inexecutable por la Corte Constitucional en Sentencia C-554 de 2007.

A large, light green, stylized number '3' is positioned on the left side of the page, partially overlapping the dark green background.

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Las redes de monitoreo de calidad del aire en las últimas décadas se han instituido como los instrumentos más idóneos para determinar el comportamiento de las concentraciones de contaminantes en la atmósfera. Esta información es clave en el establecimiento de las medidas costo efectivas para el mejoramiento de la calidad del aire, especialmente en las grandes urbes contemporáneas. Sin embargo, como cualquier otra tecnología, es importante considerar que los procesos de estudio, asimilación y transferencia de estas innovaciones tecnológicas, deben estar acompañados de los correspondientes avances en materia de gestión de políticas públicas y actualización normativa, así como del adecuado factor humano que viabilice que estas nuevas posibilidades se transformen en valor agregado para informar mejor a los ciudadanos e interesados.

De esta forma, se presenta un recuento de las diferentes fases de desarrollo del monitoreo de la calidad del aire en las últimas décadas en la ciudad de Bogotá, con el fin de ilustrar sobre la trayectoria y los hitos sobre los cuales se ha construido una capacidad importante, que ha requerido el esfuerzo y la persistencia de las diferentes administraciones de la autoridad ambiental local en los últimos años. Así mismo, se ha incluido lo pertinente a los objetivos de monitoreo, puesto que este tema no sólo es la primera pregunta que se debe responder cuando se diseña un instrumento de este tipo, sino que se constituye en la definición recurrente que guía los distintos análisis por parte de los expertos y especialistas en general.

3.1 **Desde los primeros esfuerzos hasta la actual conformación de la RMCAB**

El monitoreo de calidad del aire en Bogotá, inició a mediados de la década de los 60 como parte de un proyecto regional promovido por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), que instaló una red manual de cinco estaciones para medir material particulado y dióxido de azufre entre otros contaminantes. La implementación de esta red respondía al proyecto PANAIRES (CEPIS/OPS, 1975), que buscaba realizar un seguimiento a los contaminantes en diferentes ciudades latinoamericanas y que logró, durante el período de 1967 a 1974, jerarquizar las ciudades que presentaban las mayores concentraciones de contaminantes. La ubicación de las estaciones se presenta en la Figura 14a. (ubicada en la página 64).

Posteriormente, la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, como ente ejecutor y operador de las políticas nacionales de control y seguimiento epidemiológico, establecidas por el Ministerio de Salud de la época, ejecutó en la ciudad, durante la década de los 80, programas tendientes a establecer la relación entre los niveles de contaminación del aire y los casos de enfermedades respiratorias detectadas por el sistema de atención de salud de la población. Para ello se estableció el "Sistema de Información sobre la Calidad del Aire (SICA)" (Salud, 1984), que almacenaba y reportaba los datos de concentraciones de partículas en suspensión, anhídrido sulfuroso y dióxido de nitrógeno entre otros contaminantes. Con este fin se ubican trece estaciones de monitoreo a lo largo y ancho de la zona urbana de esa época, como se presenta en la Figura 14b. (ubicada en la página 64).

En la década de los 80 la preocupación por el tema de la contaminación del aire en la ciudad crecía y se advertía una problemática grave. Para conocer de una mejor manera el fenómeno, en 1990 se adelantó un estudio auspiciado por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (Japan International Cooperation Agency JICA) para diagnosticar el estado de la calidad del aire, la meteorología y las fuentes contaminantes que afectaban a la ciudad y con base en el diagnóstico establecer guías para el desarrollo de políticas de control de la contaminación del aire urbano. Además, se buscaba transferir la tecnología de monitoreo de contaminantes a la contraparte en Colombia. El trabajo se desarrolló desde noviembre de 1990 a agosto de 1991 (JICA, 1992). La red de medición de calidad del aire constó de cinco estaciones que realizaban mediciones horarias de dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), Partículas Suspendidas Totales (PST), monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos no Metánicos (HCNM), metano (CH_4) e Hidrocarburos Totales (HCT). Se midió paralelamente la distribución de tamaño del Material Particulado y el contenido de metales en el mismo. Las estaciones se localizaron como lo muestra la Figura 14c. (ubicada en la página 64).

3.2 Diseño inicial y modificaciones posteriores

Todos estos esfuerzos previos sentaron las bases para que a mediados de la década de los noventa, el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), hoy Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), diseñara, instalara y operara la actual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. El diseño original de la RMCAB se basó en el estudio denominado “Sistema de información para el mejoramiento de la calidad del aire en Santa Fe de Bogotá” realizado por expertos de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) (ECOPETROL, 1995).



Fotografía 1. Estación móvil

El estudio partió del diagnóstico realizado por JICA y planteó la necesidad de tener una red de monitoreo moderna para la ciudad, complementada con un modelo de calidad del aire “para predecir el comportamiento futuro de la calidad del aire, simular escenarios futuros introduciendo los posibles cambios en el desarrollo de la ciudad y realizar estudios de costo-beneficio”. La red de monitoreo como fue concebida inicialmente por este grupo de expertos buscaba brindar “a la administración del Distrito y a los actores principales de la problemática de la contaminación, argumentos válidos para fijar políticas de crecimiento urbano-industrial de la ciudad, buscando la mínima afectación de la calidad de vida”. El diseño establecía los objetivos de monitoreo de la red, con cinco estaciones fijas y dos móviles con localizaciones aproximadas, para monitorear Material Particulado Total (PST), Material Particulado menor a diez micras (PM_{10}), Ozono (O_3), Óxidos de Nitrogeno (NO_x) y Monóxido de Carbono (CO).

Para poder contar con la RMCAB se requería un diseño más detallado por lo cual el DAMA contrató en 1995 con una firma privada un estudio de prefactibilidad (SAINCO, 1995) para la implementación del Sistema de Información para el Mejoramiento de la Calidad del Aire previamente diseñado, y con base en este realizó un concurso público de méritos

para: “Contratar el diseño, suministro de equipos, montaje, puesta en marcha, operación y mantenimiento por un año de la red para el sistema de información sobre la calidad del aire de Santafé de Bogotá” (DAMA, 1996). Mediante este contrato se elaboró el diseño de la primera RMCAB. Se buscaba que con la implementación de la red en esa época se determinara la línea base de contaminación, crear conciencia sobre la problemática de calidad del aire en la ciudad y lograr una cobertura completa de la ciudad, en tres fases, con un total de total 32 estaciones en las cuales se monitorearía PST, PM_{10} , O_3 , NO_x , otros contaminantes y variables meteorológicas (adaptado de ELIOVAC, 1996).

El diseño fue avalado por un consultor internacional, quien determinó que “la red propuesta combina de una manera conveniente el uso de una escala de barrio que provee información para el modelaje de la dispersión de contaminantes, y una escala media, adecuada para la determinación de efectos en la salud pública y para la evaluación de la efectividad de las normas sobre calidad del

aire" a través del monitoreo de tendencias de la contaminación del aire en la ciudad (INC., 1997). Con las doce estaciones contempladas en la fase inicial del diseño, la RMCAB inició el monitoreo de contaminantes en agosto de 1997. La ubicación inicial de las estaciones se muestra en la Figura 14d. (ubicada en la página 64).

En la Tabla 6 se muestra la configuración y los sensores tanto de gases como meteorológicos que posee cada una de las doce estaciones de la red, de acuerdo con la tecnología de monitoreo con la cual se inició en 1997, la estación más completa para ese momento es la de Sagrado Corazón (MAVDT en la figura 14d) que monitoreaba los parámetros meteorológicos de precipitación, dirección y velocidad del viento y todos los contaminantes con excepción de $PM_{2.5}$ y PST.

Tabla 6. Parámetros medidos por la RMCAB en 1997

VARIABLE	PARÁMETRO	ESTACIÓN											
		Usaquén (Bosque)	Sagrado Corazón (MAVDT)	Carvajal (Sony)	Guaymaral (Escuela)	Chico Lago (Sto. Tomás)	Suba (Corpas)	Cazucá	CADE	Olaya Herrera	Central de Mezclas	Universidad Nacional	Engativá
Contaminantes	PM_{10}	X	X	X		X	X	X	X	X			
	$PM_{2.5}$												X
	PST												
	CO		X	X			X	X		X			
	SO ₂	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X
	NO _x	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X
	O ₃		X	X				X			X	X	
	CH ₄		X	X									
	NMCH ₄		X	X									
	Benceno		X								X		
	Tolueno		X								X		
	Formaldehido		X								X		
Meteorológicos	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Dirección del Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Velocidad del Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura superficial						X						X
	Temperatura 3 alturas				X						X		
	Humedad relativa				X						X		
	Presión atmosférica				X						X		
	Radiación				X						X		
	Ortogonal vientos				X						X		

Fuente: APCYTEL. Informe de calidad del aire 1997. Estaciones y sensores de la Red de calidad del Aire -DAMAIRE Bogotá 1998.

Figura 14a. Red PANAIRE – 1974.

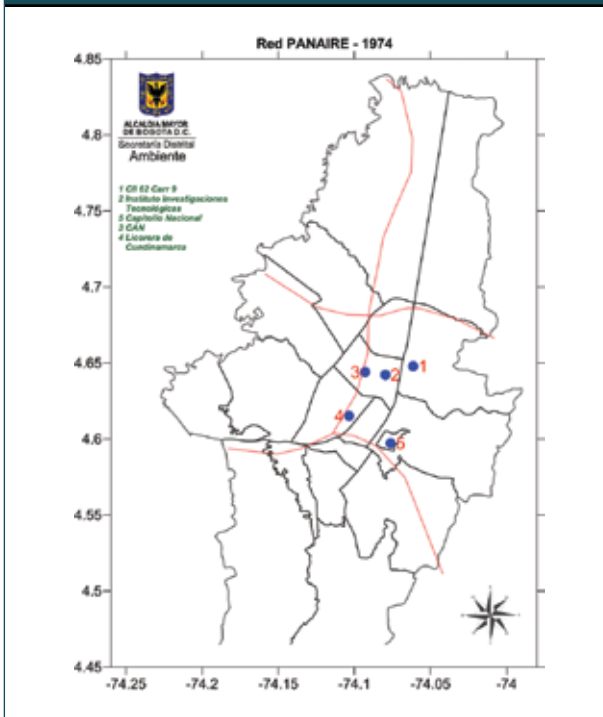


Figura 14b. Red SICA – 1985.

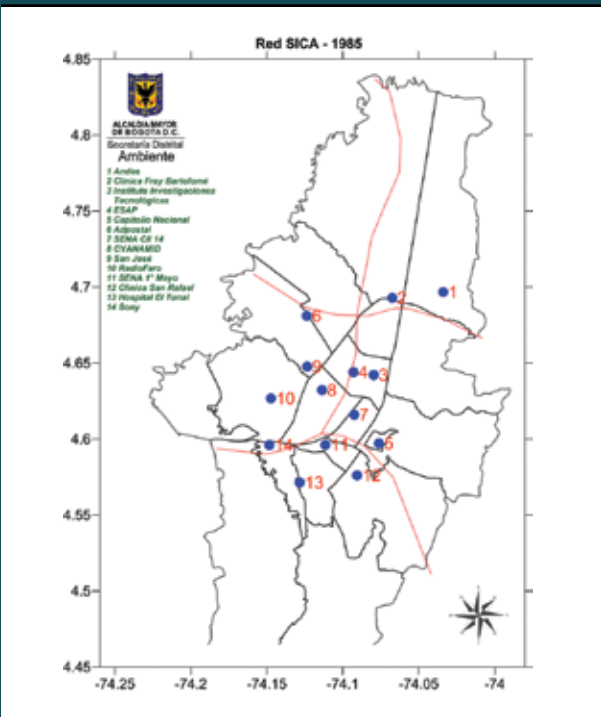


Figura 14c. Red JICA – 1991.

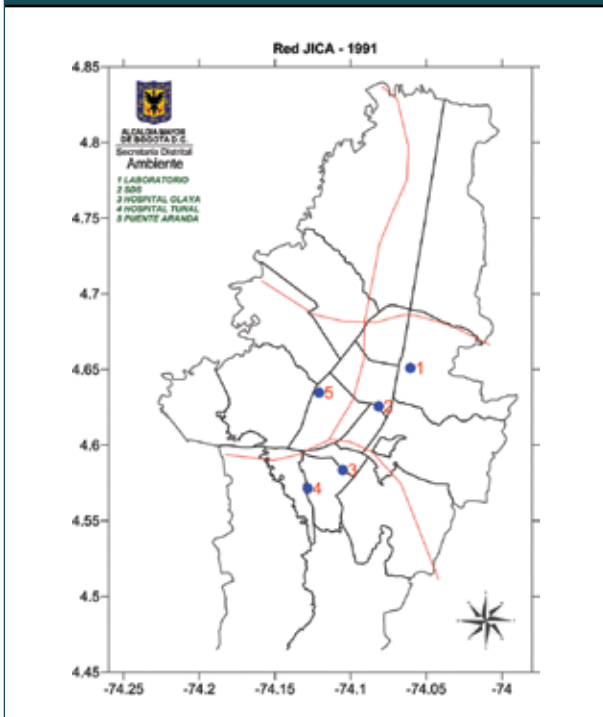


Figura 14d. Estaciones de la RMCAB - 1997.

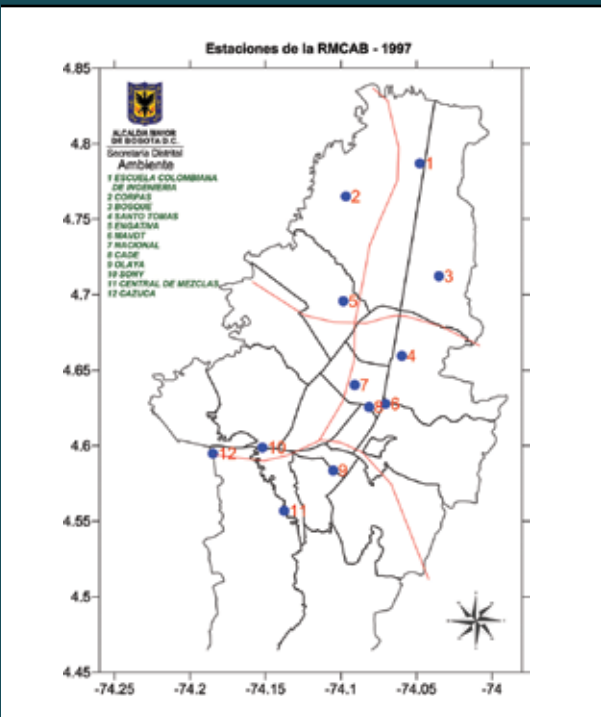


Figura 14. Ubicación de las estaciones de las diferentes Redes de Monitoreo de Calidad del Aire en Bogotá.

Fuente: Adaptado del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM. Anexo 1. Revisión y validación del diseño de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá. Auditoría a la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá. 2002.

En el transcurso de los años se efectuaron diversas modificaciones a la RMCAB, añadiendo, relocalizando o suspendiendo estaciones e instalando nuevos monitores de acuerdo con los requerimientos del momento. Debe mencionarse que durante el 2008 se dio inicio a un proceso de modernización que atendió, entre otros aspectos, los siguientes:

- Renovación de equipos que ya habían cumplido su ciclo de servicio.
- Necesidad de extender la medición de O_3 de 5 a 9 o más estaciones, con el fin de hacer una lectura completa de este contaminante.
- Mejorar el servicio de información a la comunidad y a las entidades que utilizan información relacionada con la calidad del aire tales como la Secretaría Distrital de Salud. Esto incluye los siguientes avances (ver Figura 15).
 - Acceso a la información de calidad del aire vía web mediante un programa que permite entregar información con máximo 2 horas de retraso desde su registro.
 - Facilidad de acceso vía WEB, que permite tener herramientas para revisar la información desde la perspectiva ambiental y de salud, generar promedios en distintas unidades de tiempo y realizar comparativos entre variables.
 - Uso de un Índice de Calidad del Aire de fácil comprensión y acceso para usuarios no informados, que se despliega en el mapa georeferenciado con una convención de colores que indican la calidad del aire, a la cual se le puede en ese realizar seguimiento.
- Aseguramiento en la calidad de los datos mediante la sistematización del registro del proceso de mantenimiento.
- Compra y dotación de una estación móvil de monitoreo.

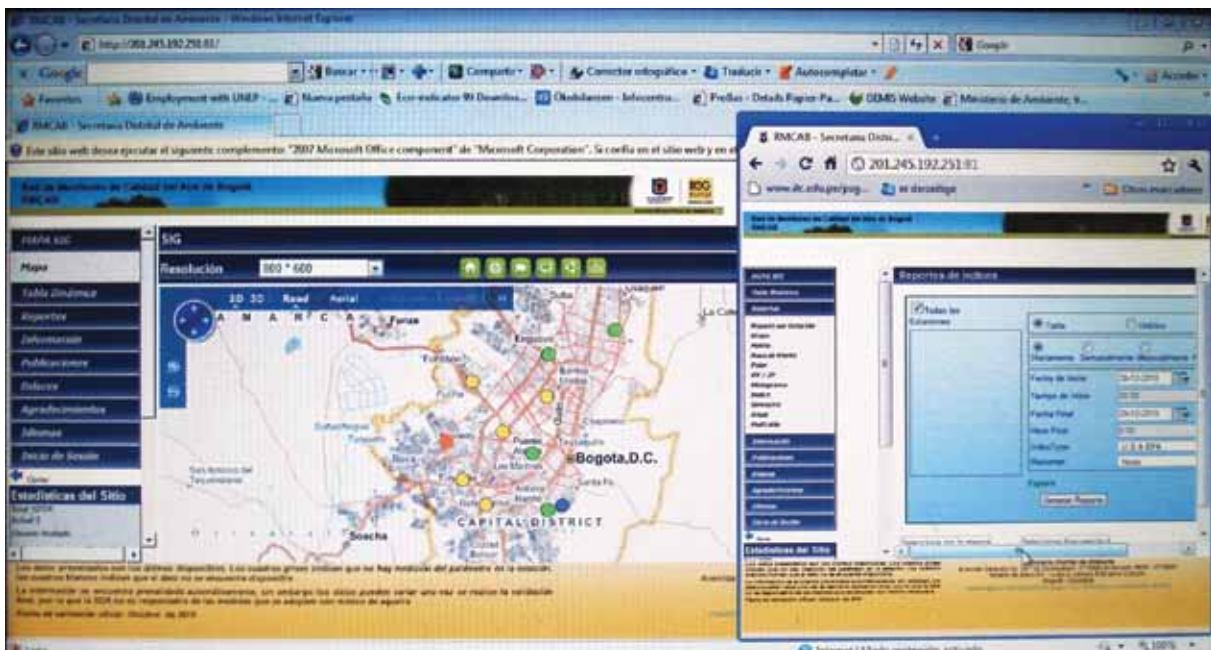


Figura 15. Imagen WEB, estaciones de la RMCAB, índice de calidad del aire y utilidades.

Después de las modificaciones antes mencionadas, la actual RMCAB cuenta con 16 estaciones (una de ellas móvil), localizadas como se presenta en las Figura 16a y 16b; en la Tabla 7 se especifican los parámetros medidos en cada estación.

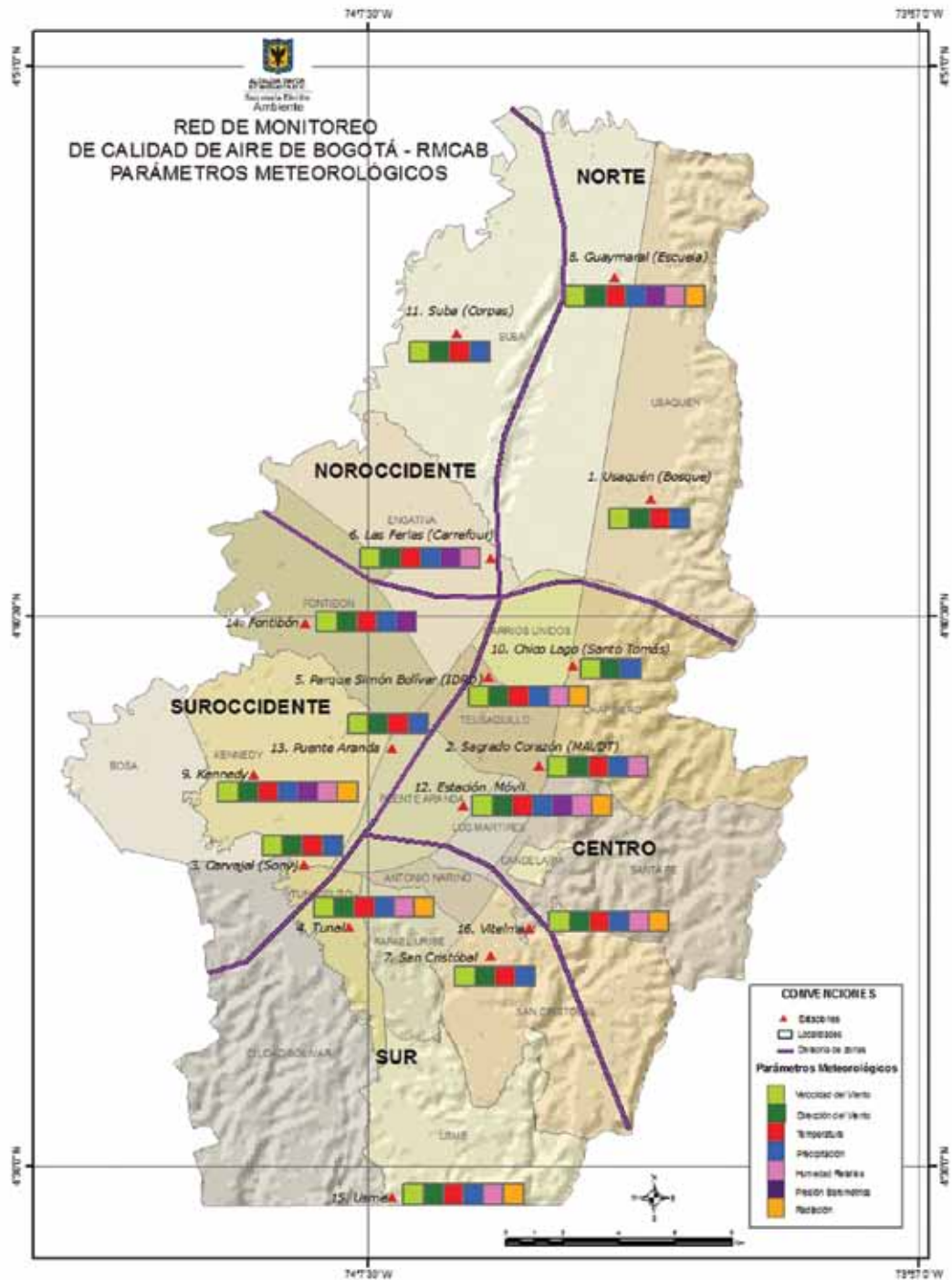


Figura 16 a. Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB, parámetros meteorológicos.

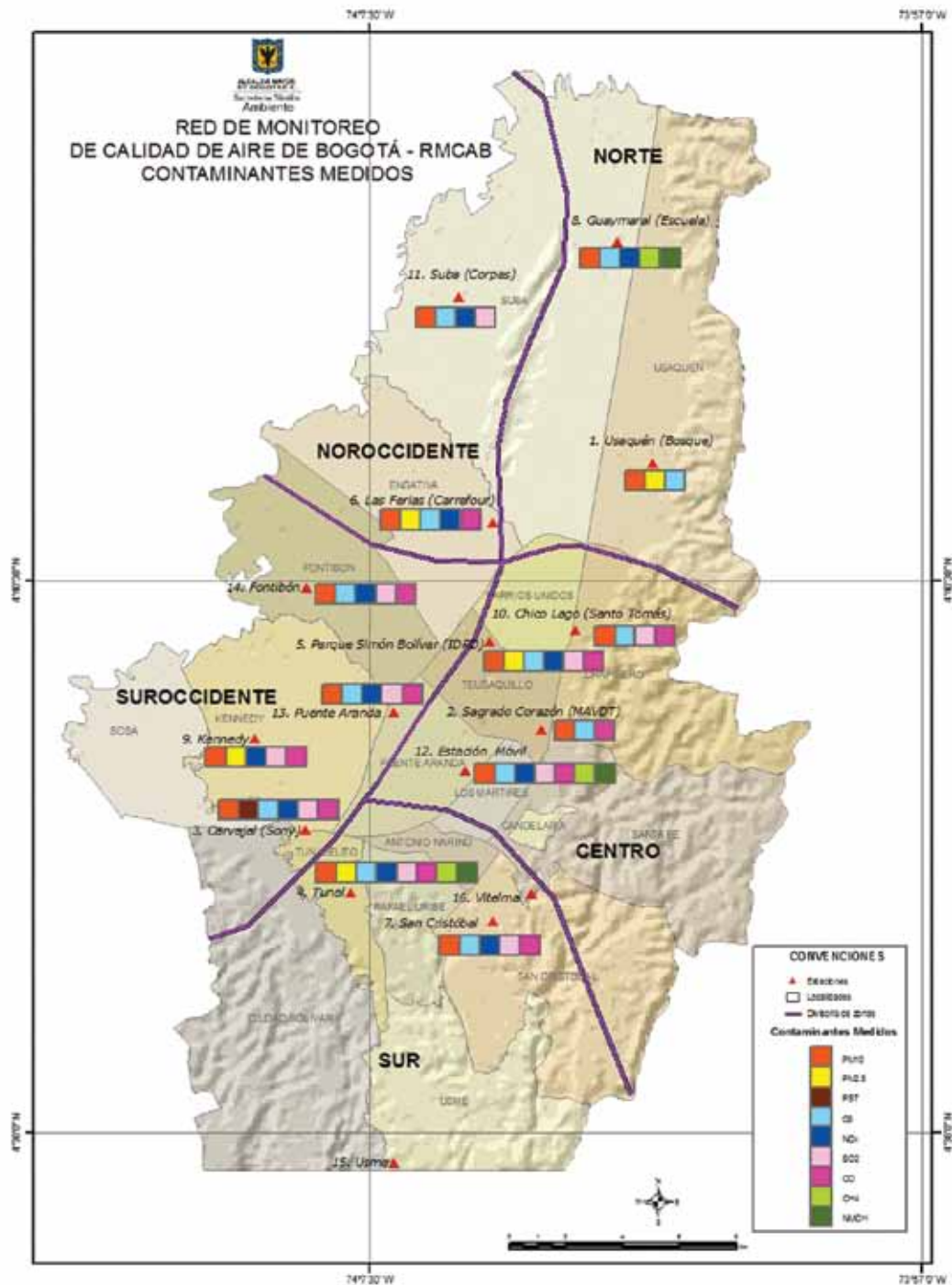


Figura 16 b. Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB, contaminantes medidos.

Fuente: RMCAB, 2009

Tabla 7. Estaciones y sensores RMCAB 2010

VARIABLE	PARÁMETRO	ESTACIÓN															
		Usaquén	Sagrado Corazón	Carvajal	Tunal	Parque Simón Bolívar	Las Ferias (Carrefour)	San Cristóbal	Guaymaral	Kennedy	Chico Lago	Suba	Estación Móvil	Puente Aranda	Fontibón	Usme	Vitellina
Contaminantes	PM ₁₀	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	PM _{2.5}	X			X	X	X			X							
	PST			X													
	CO		X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X		
	SO ₂			X	X	X		X		X	X	X	X	X	X		
	NO _x			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		
	O ₃	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		
	CH ₄				X				X				X				
	NMCH ₄				X				X				X				
Meteorológicos	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Viento	Dirección	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Dirección y Velocidad 20m								X								
	Velocidad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	3D								X								
Temperatura	Superficial	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
	3 Alturas								X								
Otros meteorológicos	Humedad Relativa		X		X	X	X		X	X			X			X	X
	Presión Atmosférica						X		X	X			X		X		
	Radiación global				X	X			X	X			X			X	X
	UVB- RS directa, difusa					X											
	Ortogonal Vientos									X							

3.3 Estado de la calidad del aire

La contaminación del aire comúnmente ha sido relacionada con el crecimiento industrial de una región. En ciudades de países en desarrollo esta relación involucra tendencias opuestas. Por un lado el aumento del número de vehículos y el crecimiento de la industria, producto y origen del desarrollo económico, incrementan las concentraciones de contaminantes en la atmósfera y por otro lado la mayor disponibilidad de recursos, permite incrementar la capacidad de monitorear y controlar la calidad del aire. Después de cierto punto, en las ciudades que han vivido estas tendencias contrarias, ocurre un cambio técnico y económico en los procesos productivos y en los sistemas de transporte que permiten finalmente superar el problema de contaminación. Esto ha sucedido ya en muchas

ciudades de países desarrollados (G. McGranahan y Murray, 2003). Hoy Bogotá debe esforzarse en transitar ese camino.

En los apartados siguientes se presenta una descripción del comportamiento de los contaminantes monitoreados por la RMCAB desde 1997 hasta diciembre de 2009.

3.3.1 Material particulado menor a 10 micras (PM_{10})

El material particulado menor a diez micras, es el contaminante que presenta la problemática más importante en Bogotá dado que sobrepasa la normatividad constantemente en algunos sectores de la ciudad. Teniendo en cuenta que no en todos los años se ha contado con el mismo número de estaciones (de 7 monitores en 1998 se pasó a 14 desde 2009), se presentan los promedios globales para la ciudad reportados anualmente³⁹ en la figura 17 (el dato para 2010 está actualizado hasta noviembre 30).

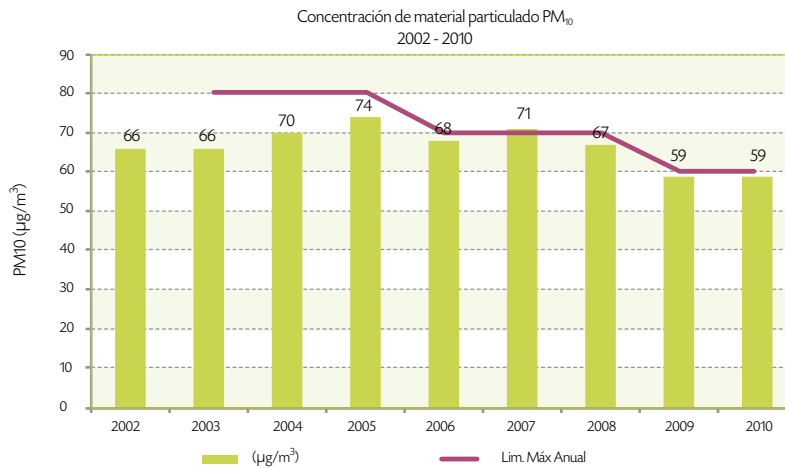


Figura 17. PM_{10} en Bogotá calculado como promedio directo.

* Limite máximo anual, Resoluciones DAMA No. 1208/03, MAVDT No. 601/06 y MAVDT No. 610/10

** Los datos anuales graficados corresponden con los datos calculados a partir de los promedios mensuales

*** Concentración anual 2009 sin las estaciones de Chicó Lago y Puente Aranda

Revisados los promedios anuales se observa un aumento moderado en su concentración desde 1997. Como se ha expuesto la concentración de los contaminantes se ve influenciada principalmente por las emisiones contaminantes (fuentes fijas, móviles y naturales) y de las condiciones meteorológicas de la ciudad. Se han presentado fluctuaciones⁴⁰ a lo largo del tiempo registrado y existió una situación preocupante especialmente en los años 2004, 2005 y 2007, situación que ha registrado una mejora en los últimos tres años.

3.3.1.1 Comportamiento en la ciudad

Las concentraciones de PM_{10} en la ciudad no son totalmente uniformes, los valores registrados por la RMCAB se pueden usar para identificar sectores que soportan mayores niveles de contaminación que otros dentro de la ciudad. En la figura 18 se muestra la distribución geográfica de la concentración del contaminante. La ciudad está dividida en 5 regiones delimitadas por las líneas rojas. Para efectos prácticos las llamaremos región Norte (estación de Guaymaral, Usaquen y Las Ferias), sector noroccidental (estación Suba), sector central (estaciones de Chico-Lago, Parque Simón Bolívar, Sa-

39 Un cálculo por promedio ponderado en áreas o con la metodología establecida en la Resolución 650 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial llevaría a obtener resultados con valores ligeramente diferentes, pero se conserva la tendencia del comportamiento del contaminante.

40 Por ejemplo en 2005 el promedio ponderado anual excede en $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la norma anual, mientras que para el 2010 el promedio global ha estado justo $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por debajo del límite anual de la norma.

grado Corazón), sector suroccidental (estaciones de Fontibón, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal) y sector sur (estación Tunal).

Como se presenta en la figura 18, la concentración de PM_{10} tiende a ser alta hacia la localidad de Kennedy–Bosa del sector suroccidente y disminuye hacia el nororiente, conservándose concentraciones medias en el sector central de la ciudad.

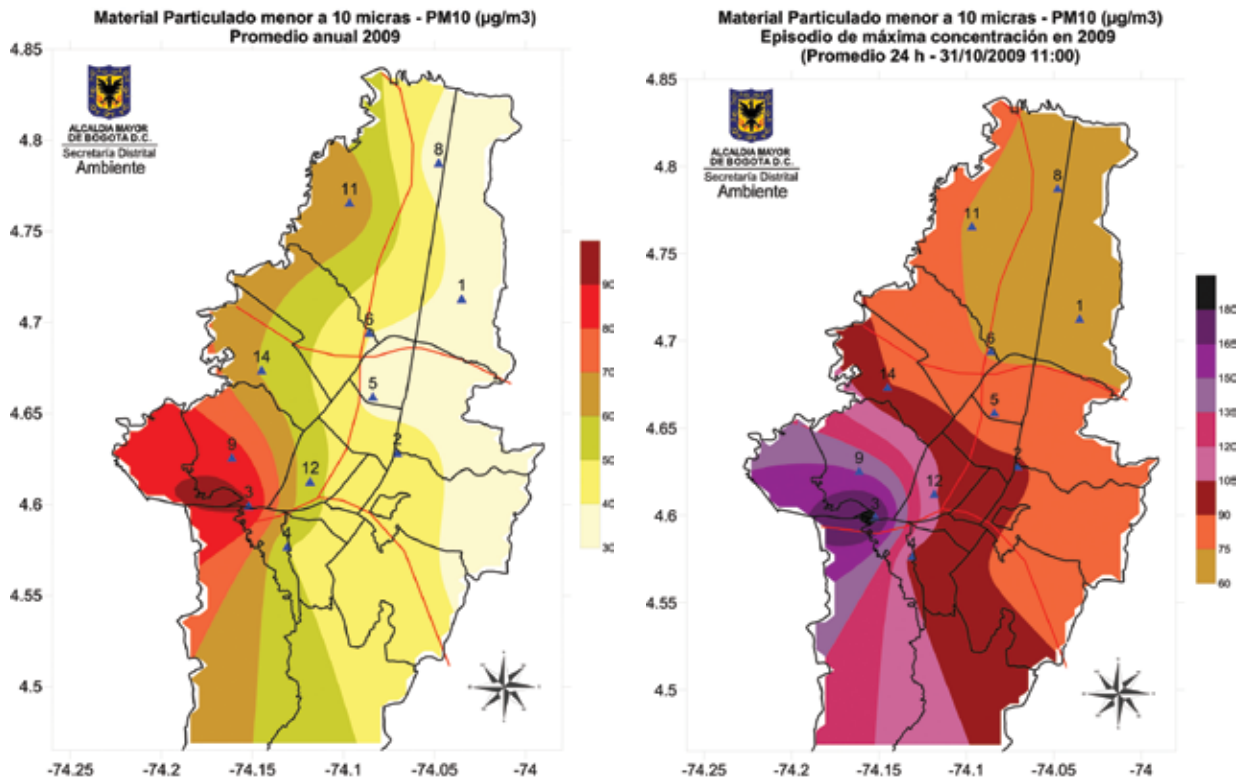


Figura 18. Distribución geográfica de la concentración de PM_{10} para el 2009, promedio anual y evento de mayor concentración.

3.3.12 Estacionalidad

De acuerdo con la figura 19, el comportamiento mensual en las concentraciones del material particulado presenta promedios bajos para los meses de junio y julio, meses de mayor inestabilidad atmosférica, y altos en los bimestres febrero-marzo y en octubre-diciembre.

Respecto a la influencia de la precipitación, como se describió en el apartado 1.2 meteorología de la ciudad y su influencia sobre la calidad del aire, no existe una relación directa que explique a partir de esta variable el comportamiento de la concentración del PM_{10} . Sin embargo, se observa, lo cual es objeto de validación, que a pesar de que la lluvia es un factor que alivia la atmósfera de material particulado PM_{10} , resulta en un hecho episódico, que de momento puede disminuir el nivel de concentración. Sin embargo, los periodos de lluvias corresponden también a periodos de alta nubosidad, baja radiación solar directa y temperaturas no muy altas en las horas diurnas, condiciones que promueven alta estabilidad atmosférica y dificulta la dispersión de los contaminantes en el aire, generando promedios altos de PM_{10} en la ciudad.

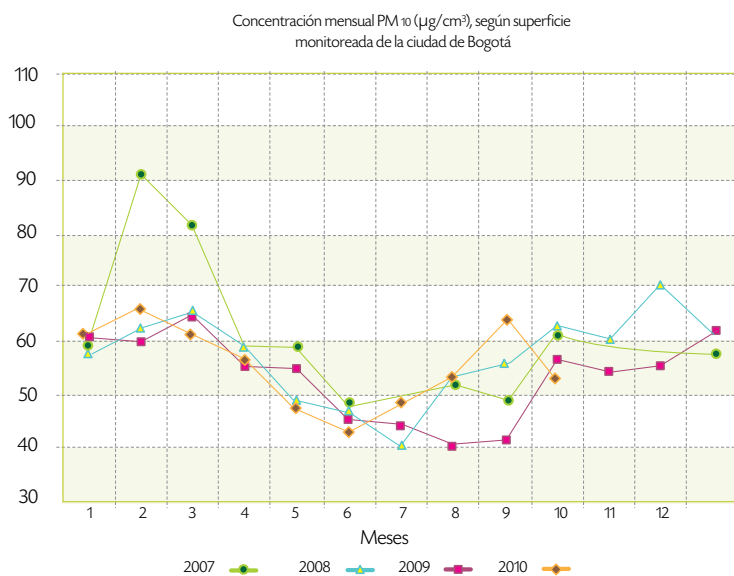


Figura 19. Concentración mensual de Material Particulado año a año.

3.3.13 Eventos

Ya que la calidad del aire está directamente relacionada con la emisión de contaminantes, es interesante mostrar eventos donde las emisiones no sean las típicas en días laborales. Normalmente el viernes de Semana Santa se presenta una baja emisión de contaminantes, que no obstante al presentarse en meses en que la concentración de PM₁₀ tiene altos registros (marzo, abril), forma para ese día los promedios más bajos en las estaciones.

Revisados los registros de la RMCAB se establece que el valor diario más bajo, de 2006 a 2010, ocurrió para las estaciones de Carvajal y Kennedy el 14 de abril de 2006 (Viernes Santo) y para el Parque Simón Bolívar y Fontibón el 10 de abril de 2009 (Viernes Santo).

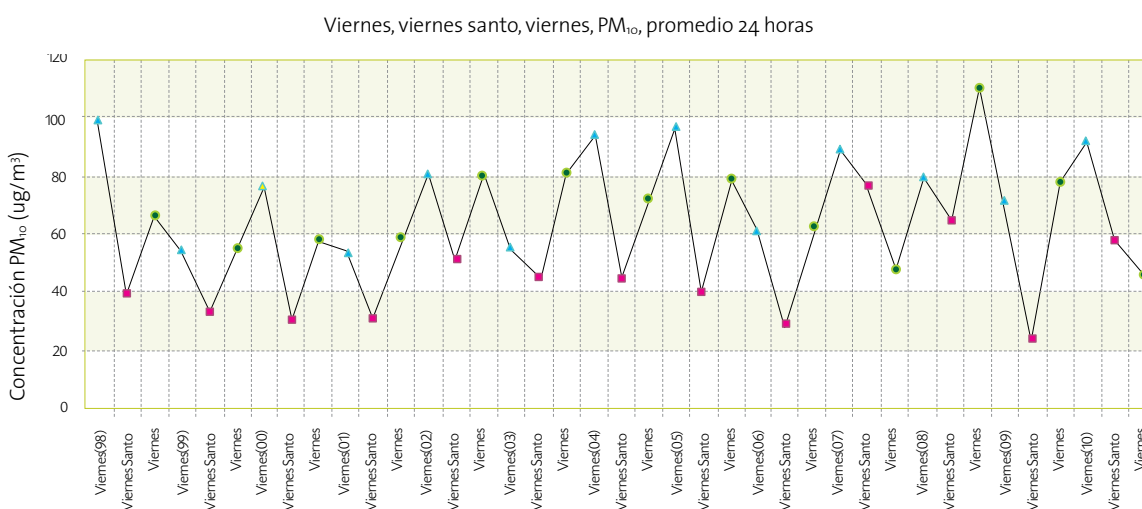


Figura 20. Concentración diaria de PM₁₀, viernes anterior (en azul) y siguiente (en verde) a Viernes Santo (en rojo), en µg/m³ promedio directo, periodo 1998 a 2010.

Generalmente los viernes anteriores y posteriores al viernes santo muestran promedios diarios mucho más altos al evento analizado. Los únicos años en los que para el viernes siguiente se registraron menores concentraciones fueron en 2010 y 2007, años en los que se presentó incendio forestal antes del Viernes Santo, lo que sugiere la alta residencia que tiene el material particulado emitido en el evento.

3.3.2 *Material particulado menor a 2,5 micras (PM_{2,5})*

El material particulado de menos de 2,5 microgramos ha sido medido mediante monitores automáticos en dos oportunidades continuas en la RMCA, entre 1997 y 1999 en la estación de Engativá, recientemente a partir del 2005 en la estación de Kennedy y desde julio de 2008 en las estaciones de Las Ferias, Parque Simón Bolívar y Tunal.

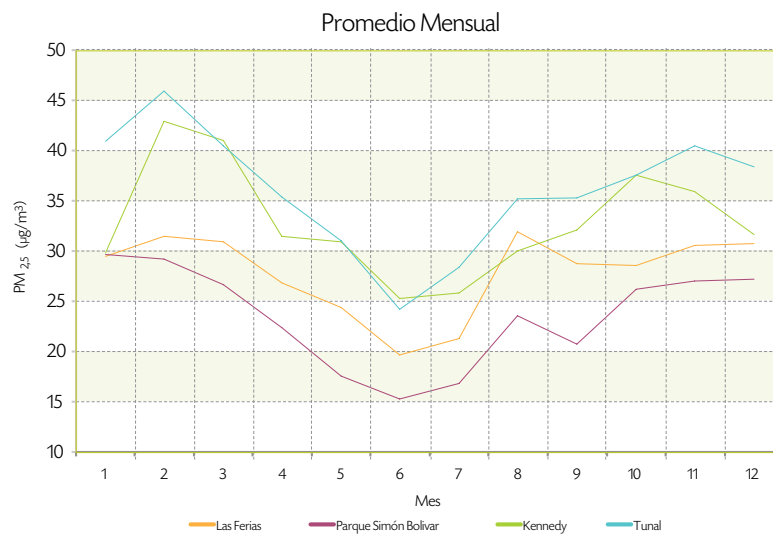


Figura 21. Promedio mensual para PM_{2,5} por estaciones.

Tal como el comportamiento del PM₁₀, el contaminante PM_{2,5} en Bogotá presenta bajas concentraciones en junio y julio, dos picos de concentración entre febrero y marzo y entre octubre y noviembre, siendo más altos los del primer semestre.(Figura 21)

3.3.3 *Partículas Suspensas Totales (PST)*

Las concentraciones de PST se han mantenido de manera persistente por encima de las concentraciones anuales definidas por la normatividad (100 µg/m³) en los puntos monitoreados (Carvajal y Cazucá). La evolución temporal ha sido de levemente a baja, con un intervalo de aumento asociado a la construcción del sistema de transporte masivo por el corredor de la Autopista Sur, lugar donde se encuentra la estación que ha monitoreado continuamente este contaminante. Este contaminante se asocia a PM₁₀ y a polvo grueso resuspendido. (Figura 22)

3.3.4 *Óxidos de Nitrógeno (NO_x)*

Las concentraciones anuales de NO₂ han estado siempre por debajo del 50% de la norma (Figura 23). Aunque existe una pequeña variabilidad en los promedios anuales, que puede ser provocada por factores meteorológicos locales en los puntos de monitoreo, siempre han sido consistentemente bajos, y se han mantenido constantes en el periodo analizado. Sin embargo, por su aporte al material particulado secundario, especialmente a la fracción más fina y por su participación como precursor, en conjunto con los Compuestos Orgánicos Volátiles, en la formación de Ozono troposférico, la emisión de este contaminante debe ser observada de cerca. Se denota un leve aumento durante lo corrido del 2010.

Evolución concentración PST

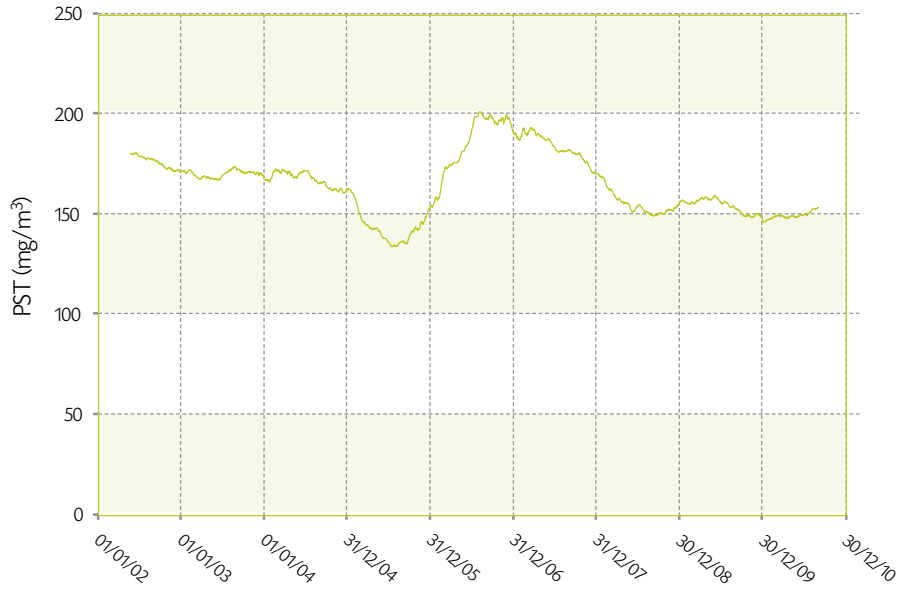


Figura 22. Evolución en la concentración de PST en los periodos 2002 a 2010.

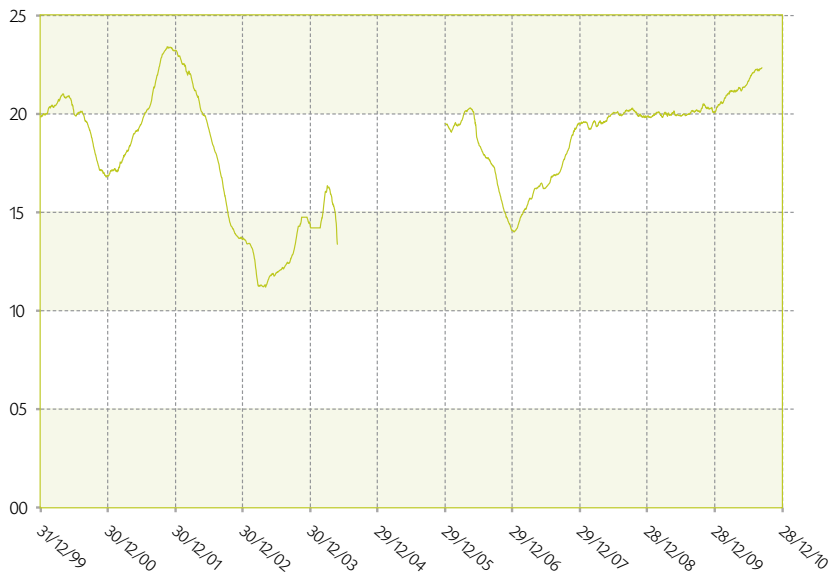


Figura 23. Evolución de promedios anuales de NO₂*.

*Se tuvieron en cuenta estaciones con más del 50% de los datos válidos.

3.3.5 Ozono

Los contaminantes fotoquímicos medidos como Ozono presentan una problemática menos grave que el material particulado, pero que puede tener importancia como ocurrió hasta el 2002. Revisada la información histórica han ocurrido promedios de 8 horas por encima de la norma durante todos los años analizados (véase Figura 24), pero no se puede extraer una tendencia clara, el registro se encuentra mediado por el número de equipos instalados. En la figura se puede observar la mayor sensibilidad de la norma octohoraria.

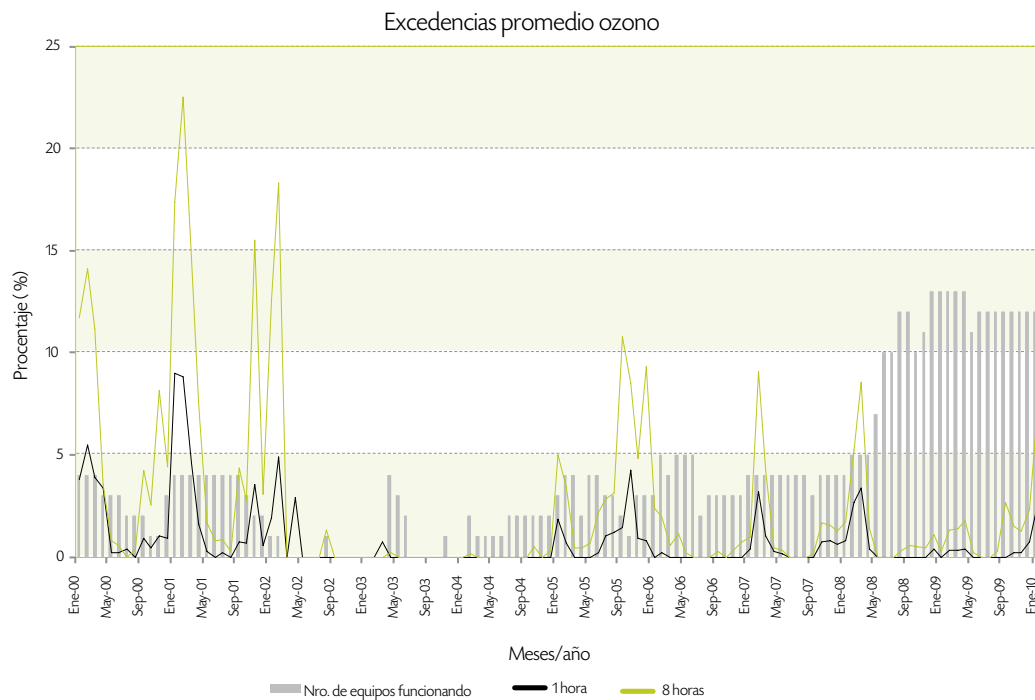


Figura 24. Excedencias horarias y octohorarias, enero/2000 a enero/2010.

Si se revisan las excedencias máximas por estación a la norma de 8 horas, el número de excedencias se da normalmente en el 3% de los datos calculados, que corresponde a 58 de los 734 promedios mensuales calculados. Revisado el número máximo de excedencias por estación de enero de 2007 a febrero de 2010, se aprecia que el número de excedencias mayor se presenta de forma mayoritaria en su orden en las estaciones Parque Simón Bolívar (4/13), Sagrado Corazón (3/13), Suba (2/13) y Usaquén (2/13).

Revisados los máximos mensuales se aprecia que de las altas concentraciones horarias medidas entre enero de 2000 a febrero de 2002, se pasa a niveles por debajo de la norma entre abril de 2002 y enero de 2005, que puede estar influenciado por la baja cantidad de equipos⁴¹ (4 equipos o menos con registro), luego presenta una tendencia a incrementar.

Estos son indicios de un problema latente que la ciudad enfrentará más temprano que tarde. Debe mencionarse que el crecimiento del número de vehículos, la cantidad de combustible consumido en la ciudad o una anomalía meteorológica (veranos excepcionalmente soleados), e incendios forestales, como la situación que se presentó en enero de 2010, llevan a que el problema se agrave fácilmente.

⁴¹ Debe mencionarse que para 2003 y 2004 existió una baja sensible en el funcionamiento de los monitores de Ozono de la RMCAB, lo cual redujo el tiempo monitoreado y afectó la representatividad de los resultados mostrados para estos años, en 2005 se normalizó el monitoreo de la variable.

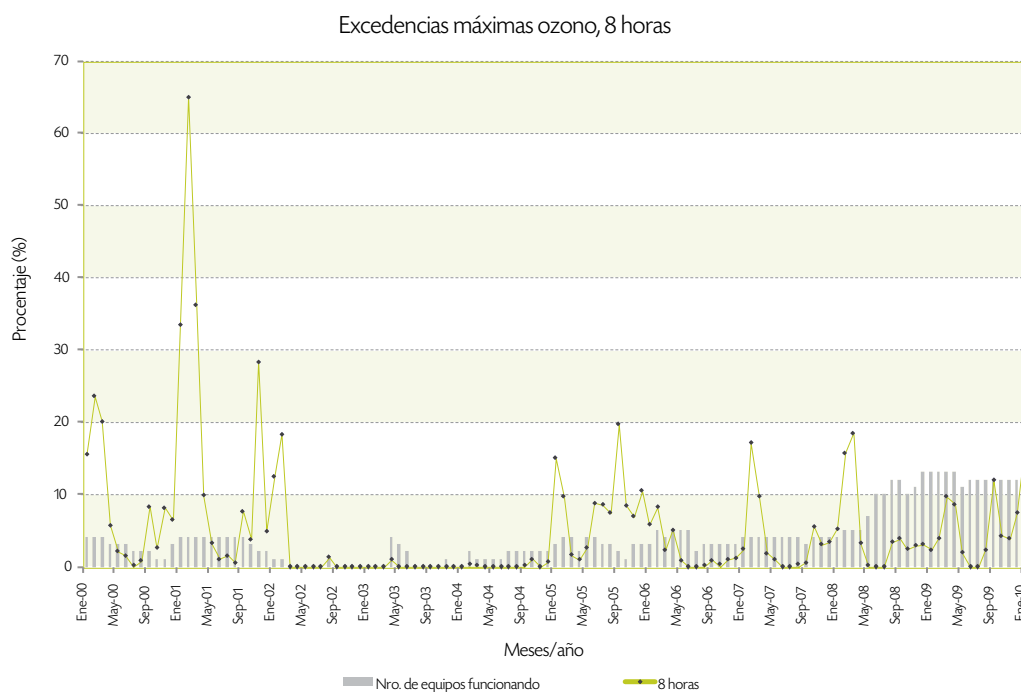


Figura 25. Máximas concentraciones de O₃ (ppb), enero/00 a enero/10.

3.3.5.1 Tendencia

Por estación, de acuerdo con lo que se presenta en la figura 26, se aprecia un aumento desde 2005 en las concentraciones para las ubicaciones de Parque Simón Bolívar y Suba que son las que presentan el mayor registro histórico; el punto de inflexión de 2005 podría deberse al inicio de la oxigenación de la gasolina en Bogotá, pero esto no se ha demostrado.

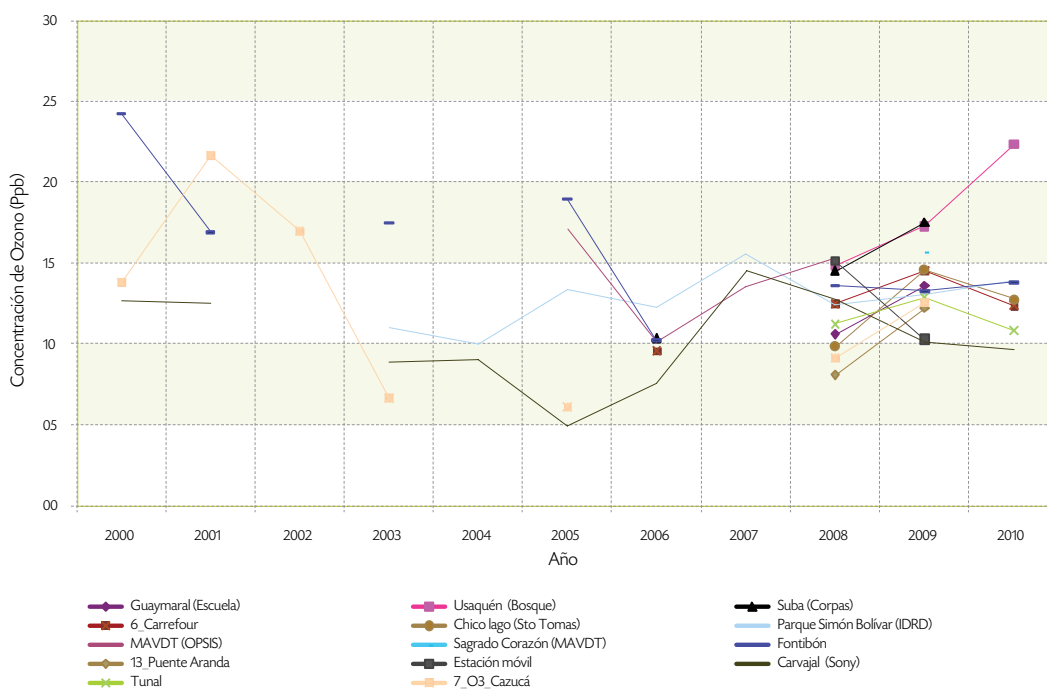


Figura 26. Promedio anual de concentración de Ozono, 2000 a 2009 en PPB.

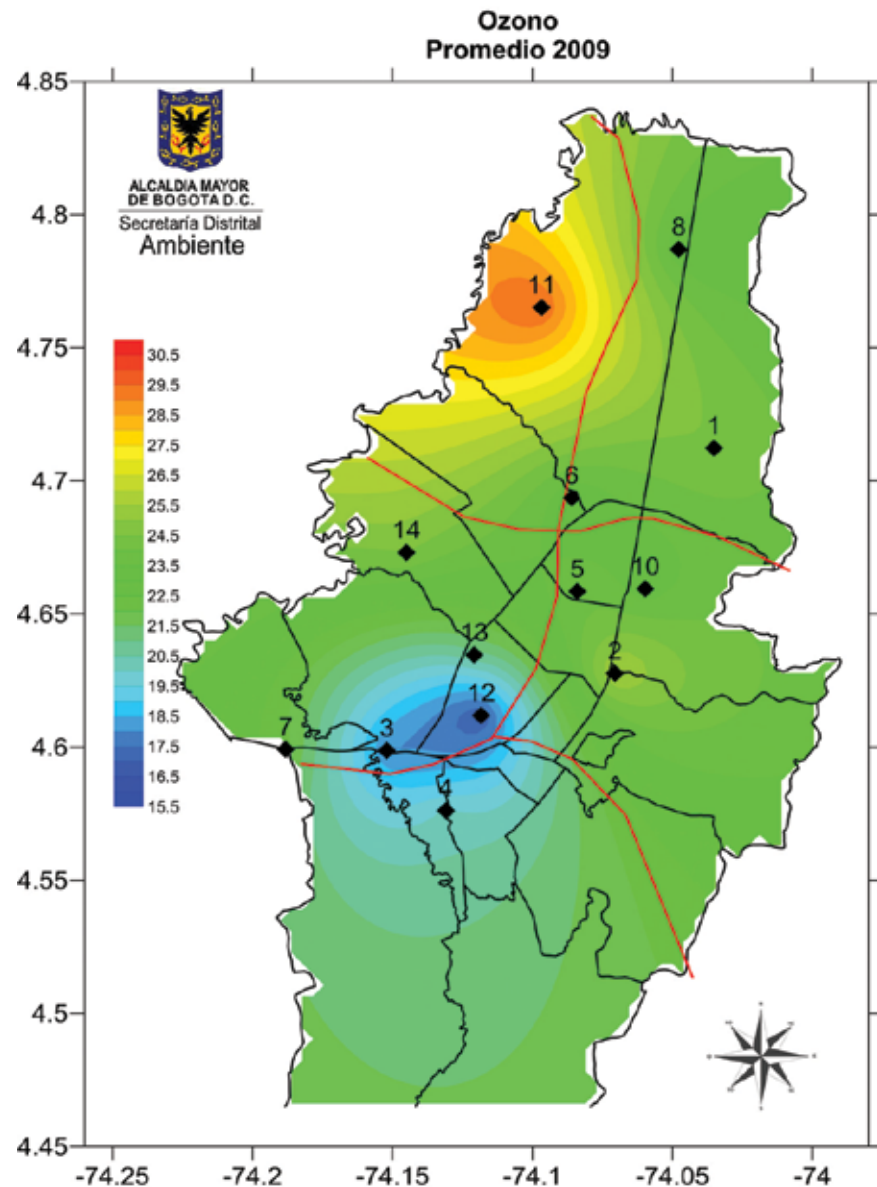


Figura 27. Comportamiento promedio anual en PPB

3.3.5.2 Último año

Todas las estaciones presentaron promedios horarios por encima de la norma pero estos tan solo corresponden a 0.2% del total calculado. Con la información de las 12 estaciones se muestra la distribución promedio anual en la ciudad en la figura 28, se aprecia como entorno a las estaciones de Carvajal y Puente Aranda se presentan las menores concentraciones y en Suba las mayores.

Para los dos meses de mayor promedio en concentración de Ozono se observa como la presentación de este contaminante se muestra cargado para febrero desde las montañas de Suba al occidente, en cambio para septiembre el fenómeno se ubica en la parte norte de los cerros orientales de la ciudad.

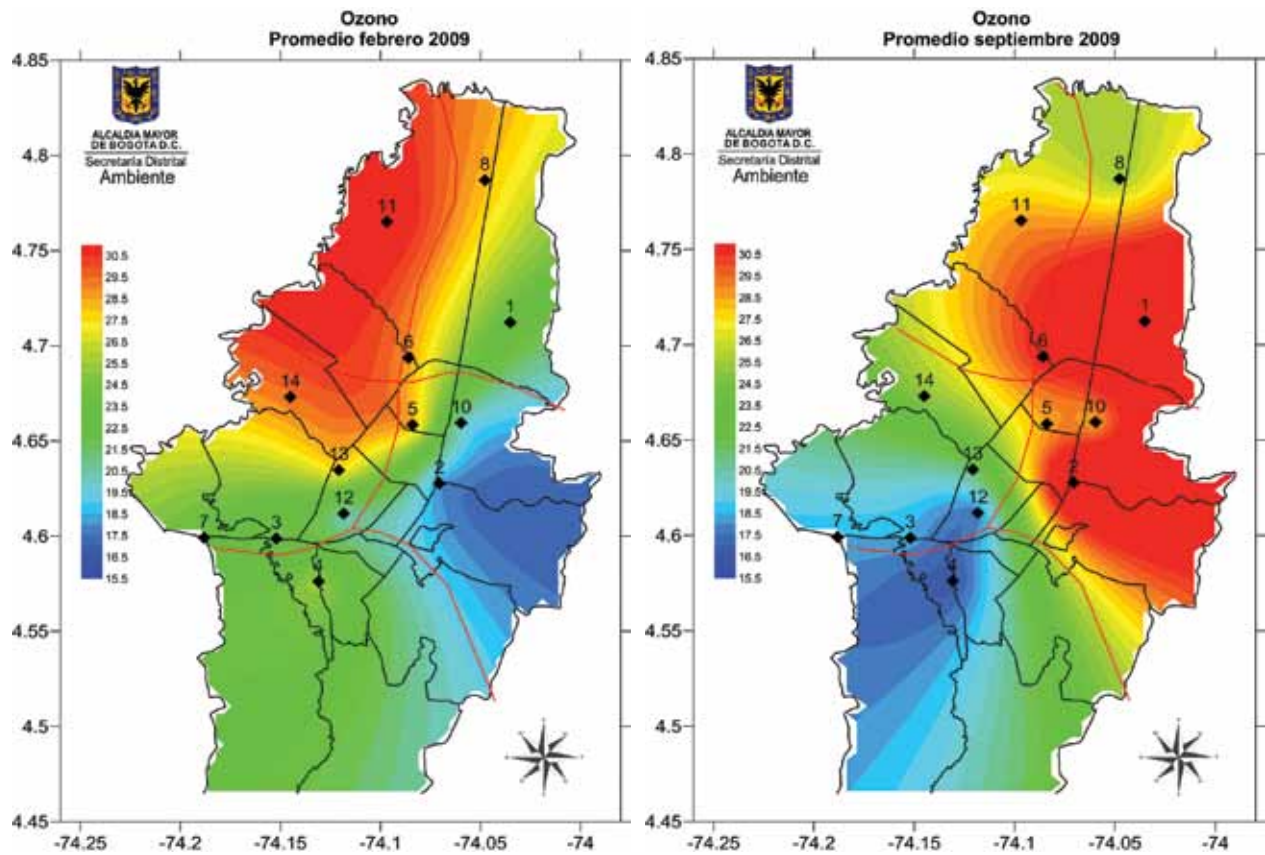


Figura 28. Comportamiento en 2 meses de alta concentración en PPB.

3.3.5.3 Estacionalidad

Concentración promedio mensual O₃

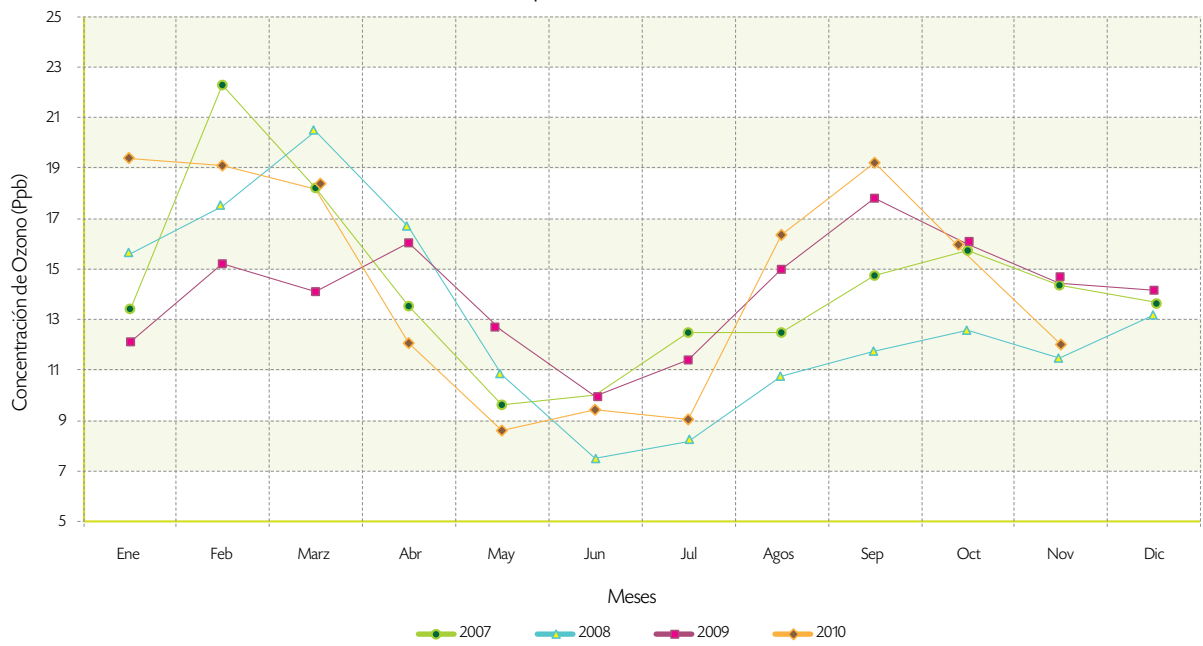


Figura 29. Concentración promedio mensual de ozono (ppb) 2007-2010.

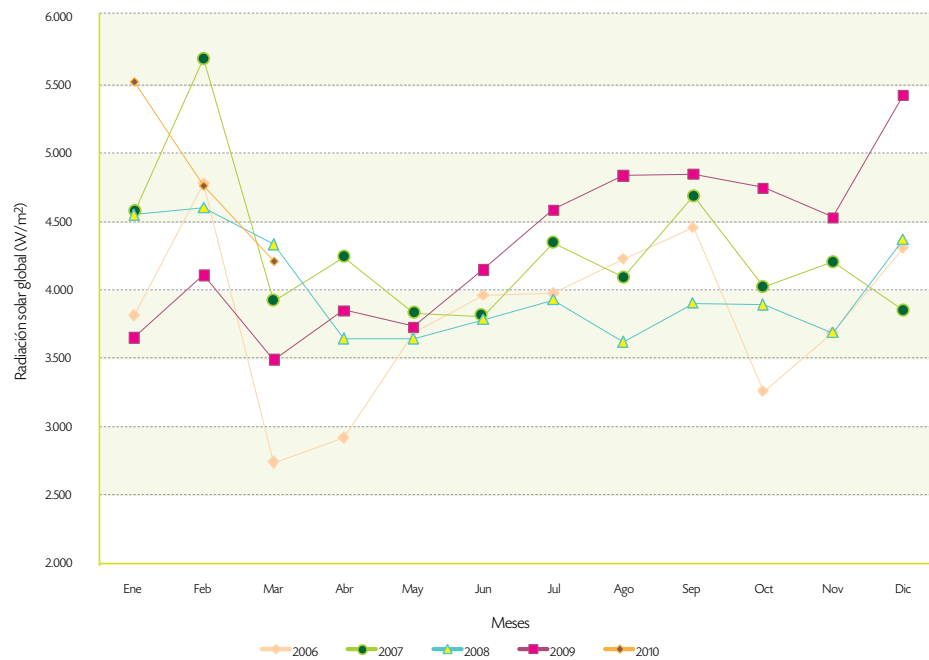


Figura 30. Comportamiento de la radiación solar 2006-2010.

Del registro meteorológico se aprecia como las mayores concentraciones obedecen al comportamiento bimodal que informa el comportamiento meteorológico de la ciudad, normalmente se presentan en los meses de febrero-marzo y septiembre a noviembre, que corresponden con épocas de mayor insolación. (Véase Figuras 29-30)

3.3.5.4 Eventos, pico y placa ampliado, incendio forestal y levantamiento del pico y placa

Durante la restricción de febrero de 2009 a enero de 2010 el número total de excedencias a la norma horaria es menor a la cantidad presentada en el mismo periodo 2008-2009 (ver Tabla 8), 183 frente a 224 respectivamente. El descenso es más meritorio atendiendo que entre febrero y mayo de 2008 funcionaron la mitad de los analizadores de ozono, dado que a partir de junio del mismo año se intensificó el monitoreo de este contaminante en toda la ciudad.

Tabla 8. Número de excedencias a la norma horaria de ozono mensual, 2007-2009, horas distintas.

Mes	Año	2007	2008	2009**
Enero		12	19	2
Febrero		58	78	19
Marzo		22	69	16
Abril		7	12	27
Mayo		5	0	5
Junio		0	0	0
Julio		0	0	0
Agosto		0	6	1

Mes	Año	2007	2008	2009**
Septiembre		0	5	1
Octubre**		17	5	14
Noviembre		16	22	13
Diciembre		14	25	31
TOTAL		151	241	129

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente

** Teniendo en cuenta todas las estaciones; se incluyen para el cálculo Usaquén (Bosque) y Sagrado Corazón (MAVDT) con registro desde octubre de 2008.

En el caso de los promedios octohorarios contando las mismas estaciones (con lo que no se incluyen las estaciones de Usaquén y Sagrado Corazón entre febrero y septiembre de 2009), la situación es distinta, en el año de restricción aumentó el número de excedencias de 430 en el lapso entre febrero de 2008 a enero de 2009, a 464 entre febrero de 2009 y enero de 2010, esta situación es altamente influenciada por el mes de enero de 2010, que en razón del incendio forestal declarado el 31 de diciembre de 2009 y el levantamiento del pico y placa, con las dos situaciones aunadas, provocó al menos 100 excedencias más de lo esperado. Adicionalmente, en el periodo en que se levantó la restricción a los carros particulares del pico y placa (a partir del 28 de diciembre de 2009), en solo diciembre se generaron 28 excedencias a la norma octohoraria, algo menos de la mitad de las 74 que se presentaron en el mes.

Si se incluyen todas las estaciones en el año de restricción vehicular se han presentado 603 excedencias a la norma octohoraria.

Tabla 9. Número de excedencias a la norma 8 horas de ozono mensual, 2007-2010, horas distintas.

Mes	Año	2007	2008	2009**
Enero		21	34	6
Febrero		130	133	44
Marzo		70	141	63
Abril		13	28	58
Mayo		9	1	13
Junio		0	0	0
Julio		0	0	0
Agosto		2	20	13
Septiembre		4	20	108
Octubre**		37	20	67
Noviembre		29	18	34
Diciembre		25	43	74
TOTAL		356	458	480

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente

** Teniendo en cuenta todas las estaciones; se incluyen para el cálculo Usaquén (Bosque) y Sagrado Corazón (MAVDT) con registro desde octubre de 2008.

En general, se podría decir que la medida de pico y placa ha contribuido a mejorar la calidad del aire de la ciudad, hecho evidenciado en la reducción de las concentraciones de O₃ de febrero a mayo (pe-

riodo de meteorología similar al anterior) y en la disminución del número de excedencias a la norma horaria hasta septiembre y en 8 horas hasta agosto.

3.3.6 Monóxido de carbono

El número de días que se excede la norma para CO ha disminuido gradualmente desde 1998 y el problema hoy parece estar controlado. Esta tendencia puede mostrar que las medidas tomadas sobre las fuentes móviles, principal origen del CO, han sido efectivas. (Ver Figuras 31-32)

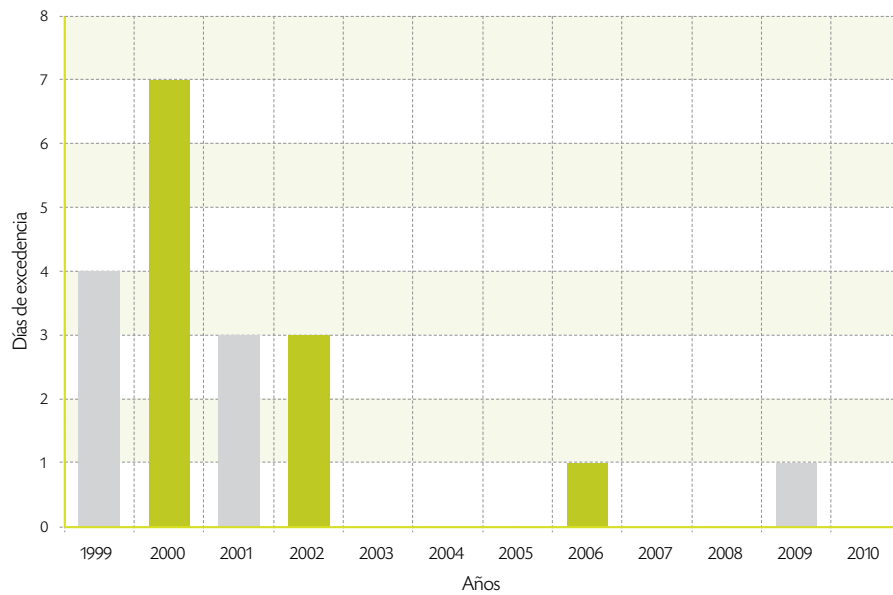


Figura 31. Número días en que se sobrepasa la norma 8 horas para CO.

Fuente: 10 años de la RMCAB, actualizado por la RMCAB.

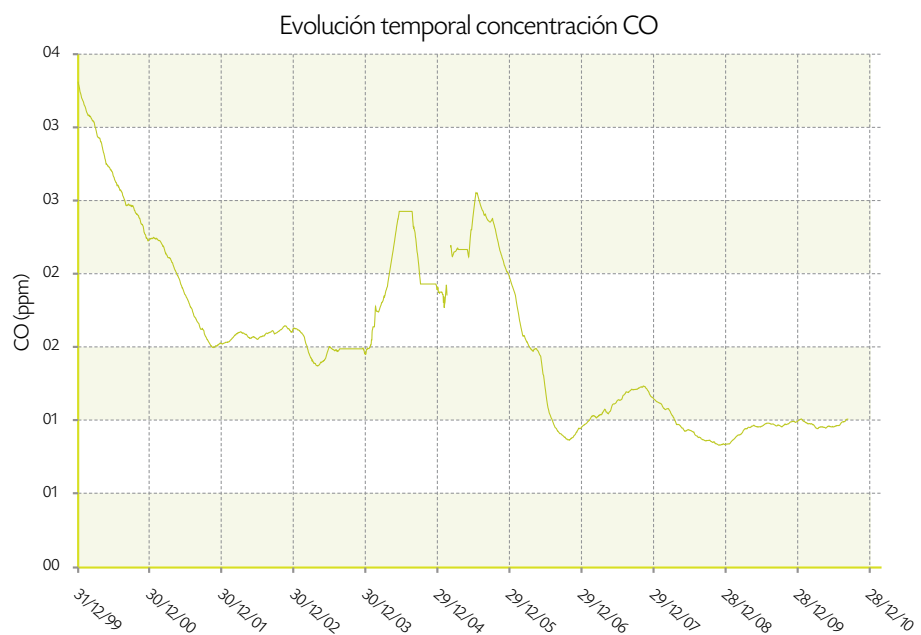


Figura 32. Concentración anual promedio de CO*.

* Se tuvo en cuenta estaciones con más del 50% de los datos válidos.

La serie de tiempo ratifica la disminución de largo plazo del contaminante CO, estabilizándose alrededor de 1 ppm, aún con el aumento del parque automotor en los últimos años.

3.3.7 Dióxido de azufre

Las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) nunca sobrepasan la normatividad, ni para exposición crónica (norma anual), ni para exposición aguda (norma 24 horas) (Figura 33). Aunque aparentemente este contaminante no representa un problema para la ciudad, se han tomado acciones orientadas a controlar sus emisiones, porque al igual que el NO₂, el SO₂ es precursor de aerosoles secundarios⁴².

Estas medidas han sido efectivas para el SO₂, como es evidente por la disminución consistente de la concentración de este contaminante entre 1998 y 2007, aproximadamente del 40%, seguido de un leve incremento en 2008 – 2009 y una disminución durante 2010, el cual se puede deber en parte al mejoramiento en el contenido de azufre en el diesel. La disminución se ha logrado aún en años difíciles para otros contaminantes como 2005.

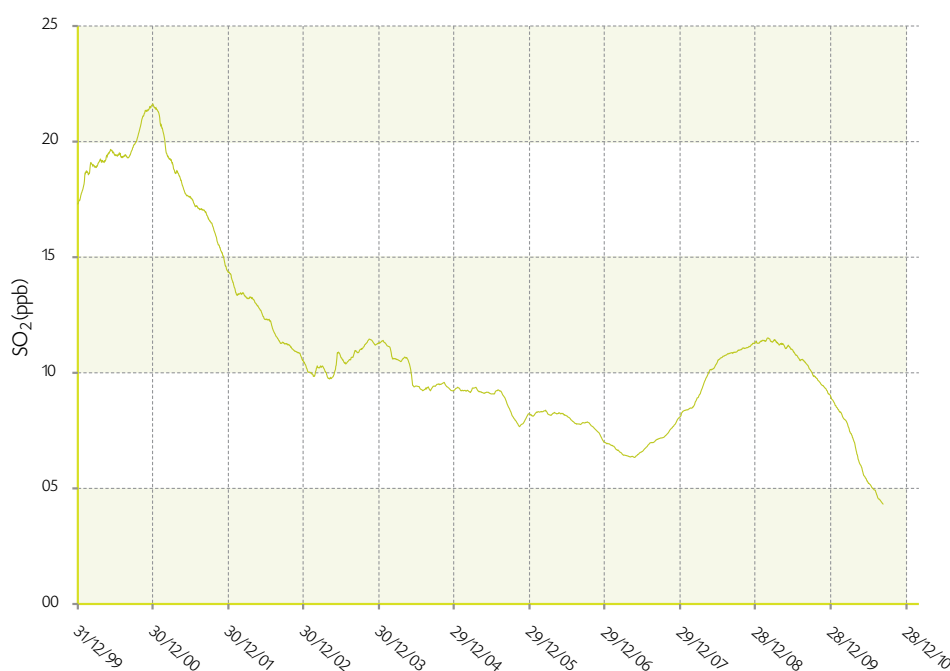



Figura 33. Evolución de promedios anuales de SO₂*

* Se tuvo en cuenta estaciones con más del 50% de los datos válidos.

42 Los aerosoles secundarios son aquellos que se forman en la atmósfera por la adsorción y absorción de vapores y gases sobre núcleos de carbono.

A large, stylized number '4' in a dark teal color, positioned on the left side of the page. It is partially overlaid by the text area.

**Acciones
realizadas por
la autoridad
ambiental para el
mejoramiento de
la calidad del aire**

Acciones realizadas por la autoridad ambiental para el mejoramiento de la calidad del aire

La Secretaría Distrital de Ambiente SDA en la búsqueda continua por mejorar la calidad del aire de la ciudad, ha implementado una serie de programas durante los últimos años, a continuación se presentan los más importantes y que son fundamentales como complemento al plan decenal de descontaminación.

4.1 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.).



Fotografía 2. Contaminación por transporte de carga

4.1.1 Desarrollo y seguimiento del programa

Rincón (2007) realizó un análisis de la efectividad de la medida del pico y placa ambiental en términos de la disminución en la circulación de buses, reducción de emisiones, y disminución en la concentración de PM_{10} 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 13,632 comparendos relacionados con incumplimiento de la normatividad ambiental 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 vehículos 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.

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. Esto 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 diesel) reconociendo además la importan-

cia 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.

El éxito de esta medida está dado por un continuo mejoramiento de los indicadores de seguimiento así como de la unión de esfuerzos para ampliar la cobertura del esquema de autorregulación.

4.2 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.

4.2.1 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.

La restricción vehicular en Bogotá continúa siendo 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. 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.

4.3 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 Mayor 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.

4.3.1 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.

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 de 2008 se detuvo la tendencia al alza que caracterizaba a las concentraciones atmosféricas de material particulado.

4.4 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 Distrital 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.

4.4.1 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 pasado la prueba de gases correspondiente (ver Figura 34).



Fotografía 3. Operativos de control a fuentes móviles

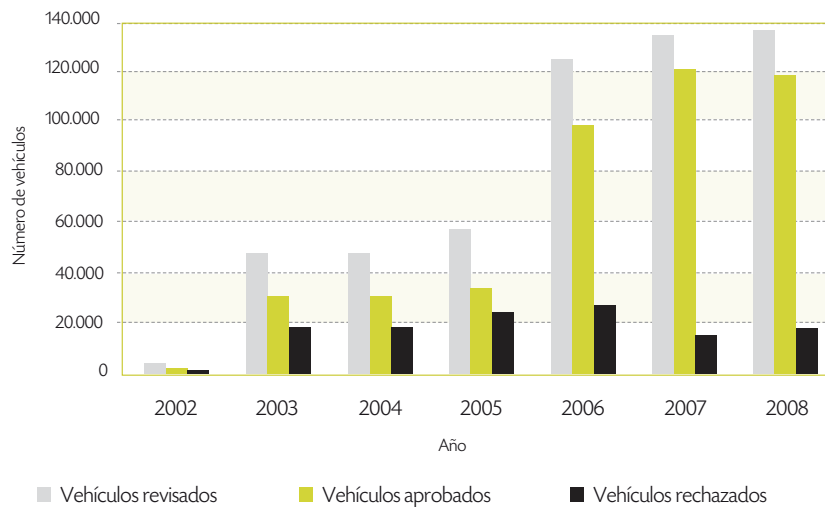


Figura 34. Operativos en vía

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.

Es clara la incidencia de la medida 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 permite mostrar la capacidad de seguimiento y control de la Autoridad Ambiental.

4.5 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, 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 acompañamiento a los muestreos isocinéticos, con el fin de garantizar que los análisis a las fuentes fijas se realicen de manera apropiada.

4.5.1 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.



Fotografía 4. Panorámica de fuentes industriales

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 Desccontaminación del Aire. En este sentido se continuará con la medida en el acompañamiento al sector industrial objeto de los mismos.

De la misma forma, los empresarios serán objeto de concientización y capacitación, 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.

4.6 Inventarios de emisiones

Se han desarrollado varios esfuerzos encaminados a determinar el inventario de emisiones contaminantes que se generan al interior del perímetro urbano. Uno de los primeros esfuerzos tiene que ver con el estudio adelantado por la Agencia Internacional de Cooperación Japonesa en 1991. Por medio de este trabajo se logró determinar que, por ejemplo, las fuentes industriales tenían una contribución del 80% en lo que se refiere a emisiones de SO_x .

De forma más reciente, la Autoridad Ambiental Distrital (en ese entonces conocida como Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente -DAMA), como parte del denominado Plan de Gestión de Calidad del Aire, logró documentar que el 86% de las emisiones de SO_x y el 67% de las emisiones de PM en la región capital provenían del sector de fuentes fijas (DAMA, 2001). Un estudio desarrollado dos años después por la Universidad de los Andes y financiado por la misma autoridad ambiental demostró que para SO_x y PM la contribución de fuentes fijas al inventario de emisiones totales era superior al 65%.

Así mismo, durante 2001, el entonces denominado DAMA y la firma de consultoría INAMCO realizaron un inventario de fuentes fijas en Bogotá en el cual se llevaron a cabo cerca de 4,500 visitas a establecimientos industriales con el fin de recopilar información primaria relacionada con el consumo de combustible y el tipo de tecnología utilizada para los procesos de generación de energía. A partir de estos datos y haciendo uso de factores de emisión compilados en la metodología AP-42 de la EPA (EPA, 1995) se calcularon las emisiones del sector industrial de Bogotá.

Según los resultados de este estudio, la localidad de Puente Aranda (en donde se concentra gran parte de la actividad industrial de la ciudad) aportó más del 25% de las emisiones totales de PM_{10} .

Estas emisiones provenían principalmente de procesos de generación de vapor, calentamiento de agua y aceite así como de procesos de inyección, extrusión, peletizado, y termoformado. Para el caso de SO_x , la localidad con mayores aportes al inventario de emisiones fue Kennedy debido a procesos de ahumado, cocción, y asado.

Para la elaboración del modelo de calidad del aire de Bogotá se realizó en 2002 un estudio en donde se utilizó el modelo europeo AIREMIS como herramienta de cálculo de los factores de emisión así como la información recolectada en el inventario de fuentes adelantado por INAMCO, obteniendo como resultado que el 80% del PM producido en la ciudad así como el 40% del CO provienen de fuentes industriales. (Adaptado SDA-CIA, 2008)

5

Metodología

Metodología

5.1 Sector transporte

La metodología adoptada para el análisis del sector transporte propone la secuencia de actividades que se presenta en la figura 35.

Para el establecimiento de la línea base, se consideró el inventario de emisiones de fuentes móviles actualizado al 2008, así como los datos relacionados con la caracterización del parque automotor, los flujos y las velocidades típicas del tráfico en la ciudad, entre otros. Esto permitió identificar los factores más importantes para la elaboración de las proyecciones de las emisiones de contaminantes, así como para el diseño de los proyectos que hacen parte integral del PDDAB. Entre dichos factores se destacan: las características del parque automotor (edad de los vehículos, tecnologías disponibles y tipos y calidad de combustibles empleados), las velocidades promedio en las principales vías, la distribución modal de los sistemas de transporte, el número y la longitud promedio de los viajes a realizar (influenciada por los modelos de desarrollo y expansión o densificación de las ciudades), el estado de las vías, y la gestión del tráfico.

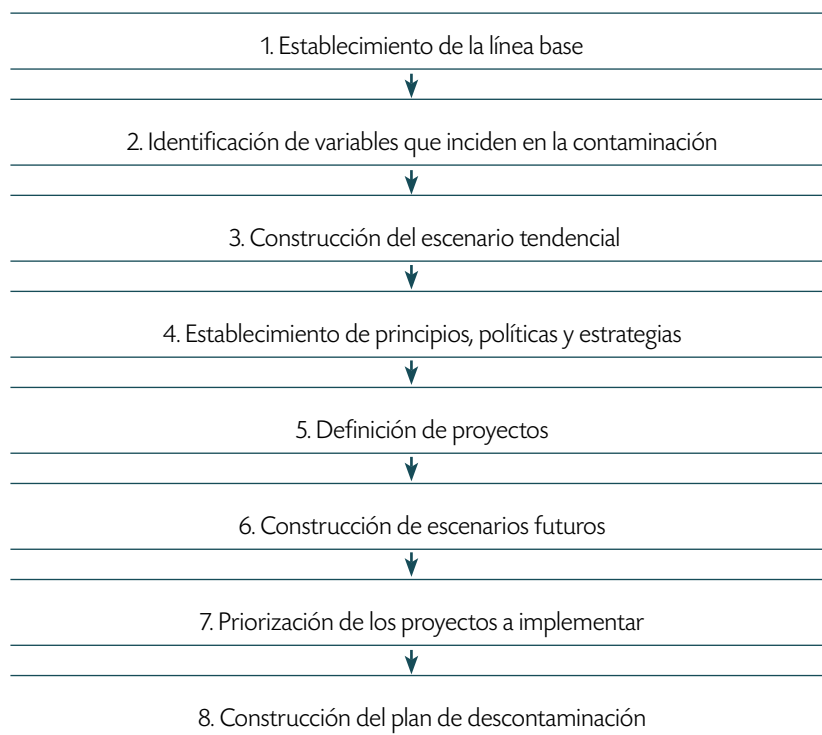


Figura 35. Metodología de análisis del sector transporte.

Por su parte, para la construcción del *escenario tendencial* o escenario “do nothing”, se evaluó el grado de contaminación de la ciudad dentro de diez años si únicamente se consideran variables tales como el crecimiento económico, el crecimiento de la población, las variaciones en la demanda de transporte para cada uno de los diferentes modos y el crecimiento de la motorización sin tener en cuenta la implementación de proyectos y medidas de descontaminación. De esta forma, el *escenario tendencial* es fundamental para evaluar los beneficios que sobre la calidad del aire podrían tener los proyectos estudiados, ya que permite tener un punto de comparación a partir del cual se evalúe la efectividad de los mismos.

En la etapa de definición y validación de proyectos se diseñaron medidas de descontaminación específicas para el sector transporte con base en la revisión de planes internacionales de manejo de la calidad del aire, el análisis del contexto de política ambiental bogotano y los aspectos técnicos del transporte de la ciudad. De esta forma, en los capítulos 8 y 10 de este documento se exponen las medidas propuestas para vehículos que utilizan combustible diesel y gasolina.

Luego del diseño de las medidas, se construyeron diversos escenarios de implementación en el marco de un proceso de optimización de costo-eficiencia de los proyectos.

A continuación se describe de manera detallada la metodología que sirvió para la construcción de la línea base, la definición de escenarios y la cuantificación de los impactos en reducción de emisiones de los diferentes contaminantes derivados de las diferentes medidas.

5.1.1 Construcción de la línea base

Para la construcción de la línea base de emisiones del sector transporte se escogió el 2008 como año de referencia, adoptando la actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles de dicho año (SDA-SUR, 2008) como punto de partida. Se procedió a completar la información de ciertos factores de emisión y contaminantes requeridos en la base de datos del mencionado documento y luego se identificaron los aspectos principales del mismo que debían ser considerados en mayor nivel de detalle.

Las emisiones de las fuentes móviles se calcularon siguiendo la metodología usada en la actualización del inventario en la fase anterior del proyecto (SDA-SUR, 2008), representada por la Ecuación 1

$$E = \sum Fe_{ij} \cdot A_j \cdot Nf_j$$

Ecuación 1

En donde Fe_{ij} es el factor de emisión del contaminante i para la categoría vehicular j [$g \text{ km}^{-1}$]; A_j es el factor de actividad asociado a la categoría vehicular j [$\text{km veh}^{-1} \text{ día}^{-1}$], y Nf_j es el número de fuentes que pertenecen a la categoría vehicular j .

En la fase anterior del proyecto los factores de emisión fueron obtenidos mediante mediciones directas del tubo de escape y bajo condiciones reales de operación de los vehículos⁴³. Por esta razón, la selección de los contaminantes y las categorías vehiculares obedeció a la disponibilidad de tiempo y recursos, dando prioridad a las principales fuentes de contaminación del sector transporte y sus contaminantes asociados. Como consecuencia, los factores de emisión de algunos contaminantes y categorías vehiculares no fueron medidos y por lo tanto, el primer reto en la construcción de la línea base consistió precisamente en la inclusión de los mismos.

Los factores de emisión medidos en campo en la fase anterior del proyecto incluyeron para vehículos livianos a gasolina y a gas natural CO, COT, NO_x y CO₂; y PM para vehículos diesel.

43 Vale la pena aclarar que el combustible usado por los vehículos diesel en los que se hicieron las mediciones, tenía un contenido aproximado de 1,000 ppm, valor notablemente superior al que se encuentra en el ACPM distribuido actualmente por Ecopetrol en Bogotá (50 ppm a partir de Enero 2010).

Los factores de emisión faltantes corresponden a PM en vehículos que operan con gasolina y gas natural vehicular; y CO₂, CO, COT y NO_x en vehículos que operan con combustible diesel. Esta información se completó haciendo uso de los factores de emisión base propuestos en el modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE por sus siglas en inglés), cuyo desarrollo ha sido financiado por entidades tales como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

Cabe resaltar que el modelo citado ha sido específicamente diseñado como una herramienta para los países en vía de desarrollo y que los factores de emisión allí propuestos representan un buen acercamiento a la realidad de las emisiones asociadas al sector transporte. Sin embargo, estos factores de emisión presentan cierto grado de incertidumbre mientras que los factores de emisión obtenidos de mediciones directas permiten obtener de manera más exacta las emisiones de fuentes móviles al considerar las condiciones reales de operación de los vehículos. Por esta razón, los factores de emisión del modelo IVE solo se utilizan como complemento de la información disponible.

En la Tabla 10 se presentan las categorías vehiculares que se tuvieron en cuenta en este trabajo. Por su parte, el Anexo 1 muestra este mismo listado reseñando para el año base los factores de actividad, los factores de emisión asociados a cada uno de ellos y el número de vehículos de cada categoría.

NOTA: El ejercicio realizado en 2008 incluyó categorías que contaron con un factor de emisión medido para compuestos orgánicos totales. En este sentido es relevante resaltar que los factores de emisión de compuestos orgánicos reportados por el Modelo IVE hacen referencia específica a compuestos orgánicos volátiles, los cuales son una fracción de los compuestos orgánicos totales.

Tabla 10. Categorías vehiculares

Tipo de vehículo	Combustible	Control de emisiones	Cilindraje	Categoría
Vehículos de pasajeros	Gasolina	TWC	≤1,400cc	VP1
			»1,400cc	VP2
		NO TWC	≤1,400cc	VP3
			»1,400cc	VP4
	Gas natural	-	-	VP5
Camperos y camionetas	Gasolina	TWC	-	CC1
		NO TWC	«2,500	CC2
			≥2,500	CC3
	Gas natural	-	-	CC4
	Diesel	-	≤ 2,500cc	CC5
		-	» 2,500cc	CC6
Bus o buseta	Diesel	-	«5,000	B1
		-	≥5,000	B2
	Gasolina	-	»3,000 y «6,000cc	B3
		-	≥ 6,000cc	B4
Bus articulado	Diesel	-	-	TM
Bus escolar/turismo	Diesel	-	-	ET
Microbus	Diesel	-	-	MB
	Gasolina	-	-	MBg
Colectivos	Gas natural	-	-	MC

Tipo de vehículo	Combustible	Control de emisiones	Cilindraje	Categoría
Taxis	Gasolina	-	-	T1
	Gas natural	-	-	T2
Camión	Diesel	«1997	«6,000	C1
			≥6,000	C2
		≥1997	-	C3
	Gasolina	-	« 6,000cc	C4
		-	≥ 6,000cc	C5
	Gas natural	-	« 6,000cc	C6
		-	≥ 6,000cc	C7
Motos ⁴⁴	Gasolina	-		M1
		-		M2

TWC = Catalizador de tres vías.

5.1.1.1 Validación del número de fuentes

Una vez asignados los diferentes factores de emisión para los cinco contaminantes de interés (CO₂, CO, NO_x, COT, PM) en todas las categorías vehiculares y para los tres tipos de combustible disponibles en la ciudad de Bogotá, se procedió a realizar una validación del número de fuentes para vehículos de transporte de pasajeros de la flota de transporte particular y pública. En este caso se tomó como punto de partida la base de datos de vehículos matriculados en Bogotá, suministrada por la Secretaría Distrital de Movilidad para la actualización del inventario en 2008 y la información sobre vehículos reconvertidos a GNV suministrada por la firma Gazel S.A. La flota de motos se estimó a partir de la base de datos de la SDM para 2008 y considerando los datos del observatorio de movilidad de la Cámara de Comercio de Bogotá.

Vehículos de transporte público

Para validar el número de fuentes correspondientes al transporte público (TP) se acudió a los registros oficiales disponibles a través del consorcio SIM (Servicios Integrados para la Movilidad) de la SDM, cuyas cifras coinciden con las publicadas por el Observatorio de Movilidad de Bogotá (CCB, 2008). Se verificó además la concordancia de las mismas con la Encuesta de Transporte Urbano de Pasajeros (DANE, 2008).

Adicionalmente, se contó con dos fuentes de información sobre el tipo de combustibles empleados por la flota en cuestión: 1) Encuestas a empresas prestadoras del servicio de transporte público colectivo realizadas para este estudio y 2) Una base de datos suministrada por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) con información sobre las empresas y los vehículos inscritos en el Programa de Autorregulación. A partir del análisis y validación de los datos suministrados por las fuentes de información mencionadas se estimó el tamaño de la flota en más de 17,000 vehículos, con la participación porcentual por categorías que se presenta en la Tabla 11.

Vehículos particulares

La validación del número de fuentes del sector particular comprendió dos aspectos: a) La edad del parque automotor reportada en la base de datos de la SDM y b) El número de vehículos que a pesar de estar matriculados fuera de Bogotá circulan por las vías de la ciudad.

44 La categoría M1 hace referencia a las motocicletas con motor a dos tiempos, la categoría M2 corresponde a las motocicletas con motos a cuatro tiempos.

Tabla 11. Flota vehicular de transporte público

MODO	Categoría vehicular	Código	Combustible utilizado	Vehículos año 2008
				Participación del TPC
TPC*	Micro Bus	MBg	Gasolina	7%
	Buses y busetas	B3	Gasolina	3%
	Buses y busetas	B4	Gasolina	4%
	Micro Bus	MC	GNV	4%
	Buses y busetas	B1	ACPM	32%
	Buses y busetas	B2	ACPM	23%
	Microbuses	MB	ACPM	21%
TM**	Transmilenio	TM	ACPM	6%

MBg: Microbuses que usan gasolina como combustible; B3: Buses y busetas que usan gasolina como combustible y tienen cilindradas entre 3,000 y 6,000 c.c.; B4: Buses y busetas que usan gasolina como combustible y tienen cilindradas mayores a 6,000 c.c.; MC: Microbuses que usan GNV como combustible; B1: Buses y busetas que usan ACPM como combustible y tienen cilindradas menores a 5,000 c.c.; B2: Buses y busetas que usan ACPM como combustible y tienen cilindradas mayores a 5,000 c.c.; MB: Microbuses que usan ACPM como combustible; TM: Buses articulados del sistema Transmilenio.

* TPC: Transporte Público Colectivo. Se refiere a todos los vehículos que prestan el servicio de transporte público y que no circulan por las troncales del sistema de transporte masivo Transmilenio. En esta categoría se incluyen los buses alimentadores de este sistema.

** TM: Vehículos que hacen parte del esquema de BRT (Bus Rapid Transit) de Bogotá, conocido como Transmilenio.

a. **Edad del parque automotor:** La base de datos de la SDM cuenta con registros de vehículos particulares (automóviles, camperos y camionetas) a partir del año modelo 1900. Es claro que vehículos cuya edad promedio sobrepasa los 30 o 40 años, si bien aparecen en dicha base de datos, en la actualidad ya no se encuentran circulando por las vías de la ciudad, con excepción de unos pocos vehículos clásicos.

Se planteó entonces un análisis sobre el número total de vehículos registrados en función del año modelo de los mismos de modo que se pudiera establecer, para cada año, cuál era la cantidad acumulada de vehículos (Figura 36). Contabilizando todos los registros disponibles en la base de datos, se obtiene un total de 853,700 automóviles, camperos y camionetas.

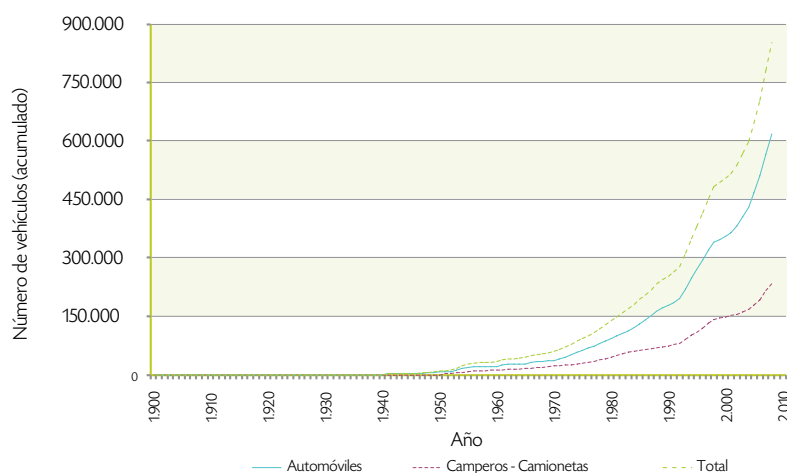


Figura 36. Número acumulado de vehículos según año modelo -Base de datos SDM.

La cifra anterior fue comparada con información suministrada por la Secretaría Distrital de Hacienda, según la cual el número de declarantes de impuestos de automóviles en el año 2008 fue de 693,000, cifra comparable con el número de vehículos acumulado entre el año 1983 y el 2008 según la base de datos de la SDM. Esto sugiere que los vehículos que tienen alrededor de 30 años de vida o más ya no circulan por sus calles y que puede existir un porcentaje de vehículos que aunque en el pasado fueron matriculados en la ciudad actualmente circulan sin declarar pago de impuestos. Según los cálculos realizados, dicha fracción sería del 8%. En definitiva, la validación arrojó como resultado un número base de 755,000 vehículos aproximadamente.

b. **Vehículos de fuera de la ciudad:** Una vez realizado el ajuste del número de vehículos particulares por año modelo se utilizó el valor encontrado para calcular el número total de fuentes móviles de esta categoría que circulan por las vías de la ciudad, teniendo en cuenta que una proporción de los vehículos que circulan por la ciudad, no necesariamente están registrados en la misma. Para tal efecto se desarrollaron aforos vehiculares con videos realizados en 4 puntos diferentes de la ciudad, de tal manera que se pudiera registrar cuántos de los vehículos que pasaban por cada uno de estos puntos se encontraban matriculados en Bogotá y cuántos en otras ciudades o municipios, realizando un conteo de placas. De esta manera, se obtuvo que aproximadamente el 14% de los vehículos que circulan por las vías de la ciudad se encuentran matriculados fuera de Bogotá. Con este valor se ajustó la cifra base (de 755,000 vehículos) de manera que se obtuvo un valor aproximado de 883,000 automóviles, camperos y camionetas que se encuentran en circulación dentro de la ciudad de Bogotá y que por lo tanto contribuyen a la emisión de contaminantes en la misma. La participación por categorías vehiculares se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Composición de la flota vehicular de transporte particular

Categoría vehicular		Combustible utilizado	Participación año 2008
Vehículos de pasajeros	VP1	Gasolina	24%
Vehículos de pasajeros	VP2	Gasolina	16%
Vehículos de pasajeros	VP3	Gasolina	16%
Vehículos de pasajeros	VP4	Gasolina	14%
Camperos y camionetas	CC1	Gasolina	13%
Camperos y camionetas	CC2	Gasolina	6%
Camperos y camionetas	CC3	Gasolina	5%
Camperos y camionetas	CC4	GNV	3%
Vehículos de pasajeros	VP5	GNV	1%
Camperos y camionetas	CC5	ACPM	1%
Camperos y camionetas	CC6	ACPM	1%
TOTAL			100%

VP1: Vehículos de pasajeros con TWC y cilindraje $\leq 1,400$ cc. VP2: Vehículos de pasajeros con TWC y cilindraje $\geq 1,400$ cc. VP3: Vehículos de pasajeros sin TWC y cilindraje $\leq 1,400$ cc. VP4: Vehículos de pasajeros sin TWC y cilindraje $\geq 1,400$ cc. VP5: Vehículos de pasajeros que usan GNV como combustible. CC1: Camperos y camionetas con TWC. CC2: Camperos y camionetas sin TWC y cilindraje $\leq 2,500$ cc. CC3: Camperos y camionetas sin TWC y cilindraje $\geq 2,500$ cc. CC4: Camperos y camionetas que usan GNV como combustible. CC5: Camperos y camionetas que usan ACPM como combustible y tienen un cilindraje menor a 2,500 c.c.; CC6: Camperos y camionetas que usan ACPM como combustible y tienen un cilindraje mayor a 2,500 c.c.

Camiones

El transporte de carga se clasificó en siete categorías según como se presenta en la figura 37. De acuerdo a los registros de Gazel, existen en la ciudad 10,438 camiones con GNV de los cuales alrededor del 60% corresponde a camiones livianos (categoría C6) y el resto a camiones pesados (categoría C7).

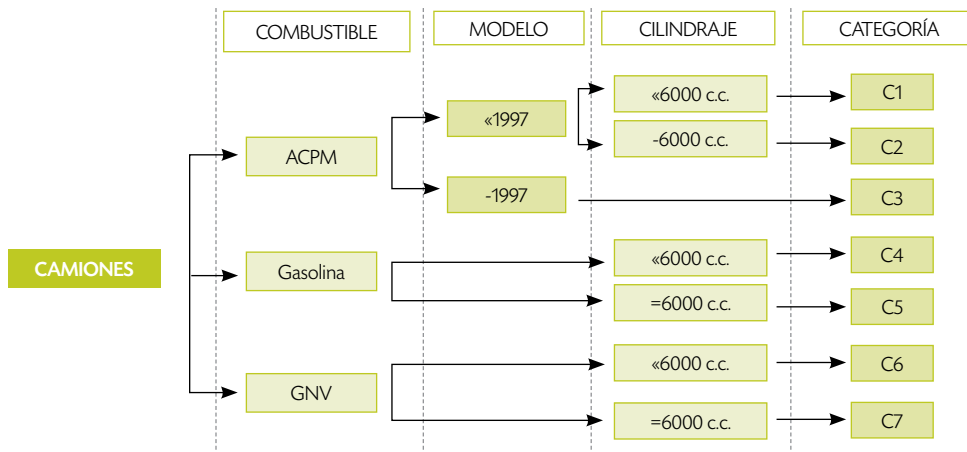


Figura 37. Esquema de las categorías de camiones en Bogotá.

Por otra parte, según los registros de la SDM para el 2008, existen cerca de 12,300 camiones que operan con gasolina como combustible de los cuales poco menos de 8,700 son livianos (categoría C4) y el resto corresponde a vehículos pesados (categoría C5).

Según el Informe del parque automotor de carga en Colombia (Ministerio de Transporte, 2006), los vehículos de carga que usan GNV y gasolina como combustible corresponden al 49% del total. Es decir, cerca de 19,700 vehículos, el 51% restante corresponde a camiones de carga de ACPM.

Adicionalmente, se consideró el efecto de los camiones que aunque no están matriculados en Bogotá circulan en la ciudad. Según información del Centro de Información Logística de Carga de Bogotá (SDM, 2007) y el informe del parque automotor de transporte de carga en Colombia (DTT, 2006), cada día entran a la ciudad cerca de 25,000 vehículos (incluyendo vehículos registrados dentro y fuera de la ciudad). Se supuso que los vehículos adicionales identificados según esta fuente de información, utilizan ACPM como combustible, ya que es el combustible con el mejor desempeño en carretera. En la figura 38 se presenta la distribución por tipo de combustible de la flota de carga en Bogotá para 2008.

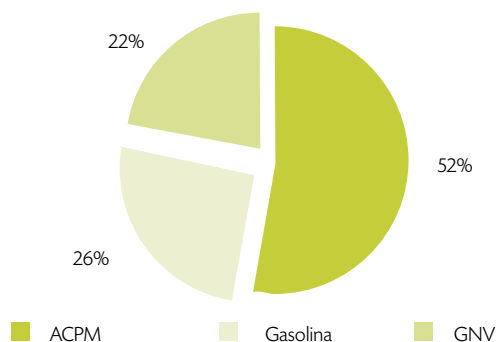


Figura 38. Distribución de la flota de camiones en Bogotá según el tipo de combustible para 2008.

Motos

La validación del número de fuentes correspondientes a las dos categorías de motocicletas está basada en los datos de la SDM para 2008. Dicha base indica que el número total de fuentes de este tipo en Bogotá es cercano a las 116,500, lo que es consistente con los rangos reportados por el observatorio de movilidad de la Cámara de Comercio. La distribución muestra una división en las dos categorías del plan: motos con motor de dos tiempos (código M1) 15,477 unidades y motos de cuatro tiempos (código M2) 101,000 unidades. En esta categoría vehicular todas las fuentes emplean gasolina como combustible principal⁴⁵.

5.1.2 Construcción del escenario tendencial

La construcción del “escenario tendencial” permite evaluar a qué punto llegarían las emisiones del sector transporte en la ciudad de Bogotá dentro de diez años, en caso de no implementarse ningún proyecto o medida de descontaminación. La creación de este escenario contempla las siguientes variables: 1) Crecimiento económico, 2) Crecimiento de la población, 3) Variaciones en la demanda de transporte para cada uno de los diferentes modos y 4) Crecimiento de la motorización.

5.1.2.1 Crecimiento de la motorización y el número de vehículos particulares

La motorización es la variable que relaciona el número de vehículos (en este caso particulares) en la ciudad con el número de habitantes de la misma. Existen diversos modelos desarrollados con el fin de caracterizar dicha tasa de motorización de manera que sea posible predecir su comportamiento en el tiempo y de esta forma conocer el crecimiento del parque automotor. La mayor parte de estos modelos intentan explicar el comportamiento de la tasa de motorización a través de una variable económica que refleje el nivel de ingreso promedio de la población y por ende, su poder adquisitivo frente a la compra de un vehículo particular. La relación existente entre la tasa de motorización y el nivel de ingresos de la población suele tener un comportamiento sigmoideo (curva en forma de “S”), ya que la tasa de motorización aumenta paulatinamente para los niveles de ingreso más bajos y más rápidamente para los niveles de ingreso más alto, hasta alcanzar finalmente un punto de equilibrio que corresponde a la tasa de saturación (Gómez, 2008).

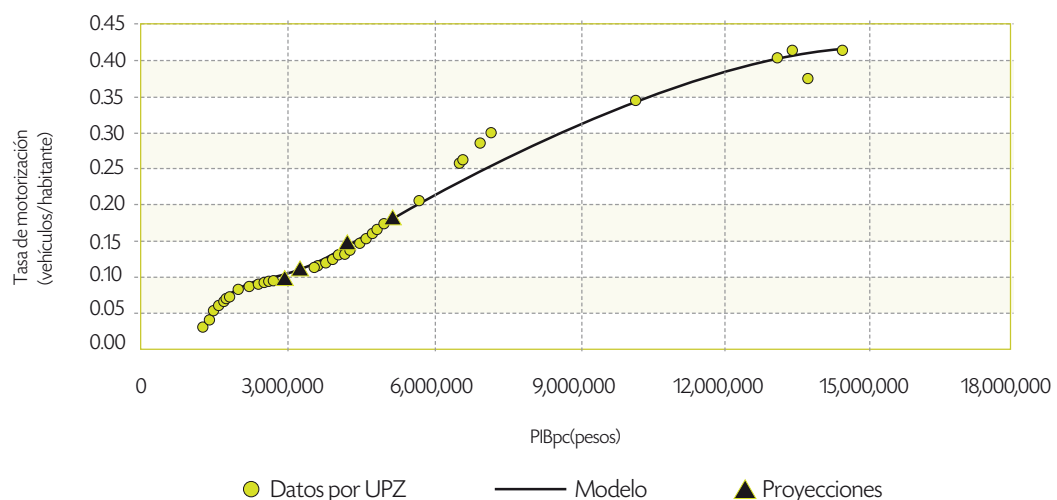


Figura 39. Construcción del modelo de crecimiento de la tasa de motorización.

45 Cabe anotar que los usuarios de motocicletas de motores de dos tiempos deben mezclar aceite en la gasolina.

Para el caso de Bogotá, en un estudio previo desarrollado por la Universidad de los Andes "El transporte como soporte al desarrollo del país. Una visión al 2040" (Acevedo et al., 2008), se estableció la relación entre la tasa de motorización y el nivel de ingresos per cápita (PIBpc) de cada UPZ de la ciudad (ver Figura 39). De esta manera y empleando referentes internacionales de tasas de motorización y niveles de ingresos asociados se logró construir una curva que permite estimar el crecimiento de la tasa de motorización para la ciudad de Bogotá. Este ejercicio permitió estimar el número de vehículos particulares que habrá hasta el 2020, que corresponde al horizonte de desarrollo del PDDAB.

5.1.2.2 Crecimiento del número de taxis y motocicletas

Para obtener las proyecciones de estos dos modos de transporte se acudió a las estimaciones hechas por Acevedo et al. (2008), quienes establecieron a través de modelos validados las tasas de motorización para motocicletas y la participación de los taxis en la provisión de viajes totales de la ciudad.

Para el caso particular de las motocicletas, se utilizó como parámetro base la tasa de motorización proyectada para la Gran Bogotá (la cual incluye los municipios circunvecinos y las áreas de expansión suburbana de la zona rural del Distrito). Sin embargo, fue necesario ajustar esta proyección según el inventario de motocicletas validado para el 2008 y considerando información sobre el tamaño de la población del Distrito.

En el caso de los taxis, se usaron las proyecciones del número de viajes que se moverían en el escenario tendencial, así como la participación de cada uno de los modos de transporte. Para calcular el número de vehículos se usó un factor de actividad de 89,000 km/año, estimado a partir de las cifras provistas por las investigaciones de Rodríguez et al (2009) y Acevedo et al (2008). Los resultados de estos cálculos se exponen en la Tabla 13.

Tabla 13. Parámetros usados para la proyección del número de fuentes (taxis y motos).

Modo	Parámetros	2008	2012	2016	2020
MOTOS	Población de la gran Bogotá	8,025,774	8,511,188	9,019,559	9,524,523
	Tasa de motorización (veh/hab)	0.0392	0.0648	0.0904	0.116
	Vehículos según tasa de motorización	314,610	551,525	815,368	1,104,845
	Vehículos ajustados según inventario validado y población de Bogotá	116,477	204,189	301,870	409,042
TAXIS	Número total de viajes	12,611,592	14,292,888	15,974,184	17,655,480
	Participación porcentual en viajes	3.29%	3.13%	2.96%	2.80%
	Viajes según participación porcentual	415,189	446,979	473,226	493,930
	Número de vehículos	51,000	54,905	58,129	60,672

5.1.2.3 Crecimiento del número de viajes de transporte público colectivo

La revisión de las variaciones en la demanda de transporte, para cada uno de los diferentes modos, permite estimar de manera indirecta el crecimiento de la flota de transporte público colectivo. La dificultad asociada a este análisis radica en la imposibilidad de realizar una desvinculación entre el número de fuentes y el factor de actividad ya que la variable a estimar resulta siendo el número de vehículos-km asociado a la totalidad de la flota.

Lo que se hizo entonces fue utilizar las proyecciones del crecimiento de los viajes en transporte público colectivo y calcular el número de kilómetros recorridos por toda la flota (veh·km) en una unidad de tiempo, conociendo el índice de pasajeros por kilómetro (1.61 pasajeros-km-1) y la longitud promedio de los viajes realizados (11.3 km).

En la Figura 40 se presenta el crecimiento de los kilómetros recorridos por la flota de vehículos, y en ella es evidente cómo para el escenario tendencial el crecimiento de los vehículos particulares será significativamente mayor al del transporte público. Esta situación está relacionada con el rápido aumento de la tasa de motorización en la ciudad proyectada para los años 2008-2020, aunado a un esquema de transporte público que en la actualidad incentiva indirectamente el uso de vehículos particulares.

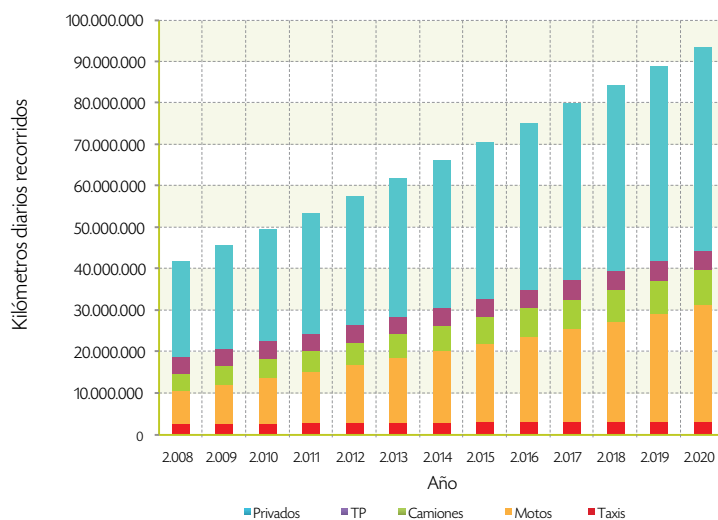


Figura 40. Crecimiento de los kilómetros recorridos por las distintas categorías de transporte de la ciudad.

5.1.2.4 Crecimiento del número vehículos de carga

La proyección del número de fuentes se realizó considerando el crecimiento esperado del PIB en los próximos años. Debido a que el transporte de carga depende en gran medida del crecimiento económico, se espera que este ajuste sea una buena aproximación al comportamiento futuro del número de camiones que transitan en Bogotá (ver Figura 41).

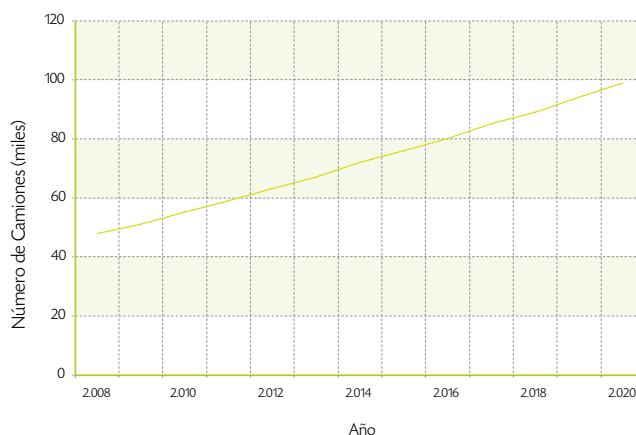


Figura 41. Proyección de número de fuentes 2010-2020.

5.2 Sector industrial

5.2.1 Estimación de la línea base de emisiones

La línea base de las emisiones del sector industrial de Bogotá se estimó para el 2008 partiendo de los resultados de la actualización del inventario de emisiones de la ciudad (SDA-SUR, 2008). Las fuentes industriales se categorizaron en 14 grupos según los equipos de combustión y el tipo de combustible empleado (ver Tabla 14). Se consideraron las emisiones de material particulado, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales y dióxido de carbono.

Para completar la información de emisiones de las categorías industriales que no cuentan con factores de emisión propios (e.d, aquellos que no fueron determinados en la primera fase del estudio), se utilizaron factores de emisión de la metodología AP-42 de la EPA (2008). Esta información permitió estimar las emisiones de las fuentes que operan con combustibles líquidos (fuel oil, diesel y GLP), así como las emisiones provenientes de fuentes que utilizan hornos a gas natural en procesos de fundición, incineración y cremación. De la misma manera, se utilizaron factores AP-42 para complementar la estimación de emisiones de COT y CO₂.

Tabla 14. Categorías de las fuentes industriales de Bogotá

Categoría	Tecnología	Combustible
CG1	Caldera » 100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997)	Gas natural
CG2	Caldera » 100 BHP (año de fabricación mayor a 1997)	Gas natural
CG3	Caldera ≤ 100 BHP	Gas natural
HG1	Horno de alimentos	Gas natural
HG2	Horno de secado y curado	Gas natural
HG3	Horno de fundición, incineración y cremación	Gas natural
CC1	Caldera » 100 BHP	Carbón
CC2	Caldera ≤ 100 BHP	Carbón
HL	Horno ladrillero	Carbón
HC	Horno	Carbón
CTA	Caldera	Aceite usado
HFA	Horno fundición	Aceite usado
ACF	Caldera industrial y comercial » 15 BHP	Fuel oil residual (Fuel oil No. 5 y 6)
ACD	Caldera industrial y comercial » 15 BHP	Fuel oil destilado (Diesel)
AHF	Horno	Fuel oil destilado
GLP	Horno y caldera con aplicaciones industriales	Gas licuado de petróleo

A partir de los factores de emisión y teniendo en cuenta el inventario de fuentes de la ciudad y el factor de actividad, estos dos últimos también producto de la fase anterior del proyecto, se estimó el inventario de emisiones del sector industrial.

En la fase anterior del proyecto se comparó el número de fuentes industriales de los registros de la Cámara de Comercio de Bogotá con el número de fuentes identificadas mediante fotografías aéreas, encontrando alrededor de un 30% más de fuentes por este último ejercicio. Se supuso que la diferencia en el número de fuentes podría ser explicada por las industrias informales de la ciudad, por esta razón se consideró un aporte adicional del 30% en las emisiones estimadas para el sector industrial.

5.2.15 Clasificación de las fuentes según los sectores de la industria manufacturera

Se clasificaron las fuentes de emisión industriales por actividad productiva, según los códigos de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) (DANE, 2006).

Fue necesario reclasificar las fuentes según el código CIIU, ya que se observaron inconsistencias entre el código CIIU reportado por cada industria en las encuestas realizadas durante la actualización del inventario de emisiones (SUR, 2008) y la actividad productiva que cada una realiza. Las fuentes se clasificaron siguiendo las especificaciones del DANE (DANE, 2006a). En este ejercicio se encontró que el 35% de las fuentes habían reportado información errónea sobre su clasificación CIIU. Posteriormente, las fuentes se agruparon de acuerdo al código CIIU en un nivel de agregación de tres y dos dígitos⁴⁶.

Adicionalmente, se hallaron los coeficientes de emisión para los diferentes sectores de la industria manufacturera. Los coeficientes de emisión, dados como toneladas de contaminante emitido por unidad de peso de producción bruta, pueden ser utilizados como un indicador de la eficiencia ambiental de los sectores industriales.

Para estimar los coeficientes de emisión se hizo uso de la tabla de utilización de la matriz de contabilidad de Bogotá (valores de 2006), con un nivel de desagregación de 59 sectores (Trabajo realizado por el CEDE de la Universidad de los Andes para la Secretaría de Desarrollo de Bogotá, 2009). Esta matriz se adaptó al grado de desagregación sectorial del trabajo de SDA-SUR (2008) del inventario de emisiones.

Los coeficientes de emisión utilizan datos de SDA, SUR en el numerador y datos de la matriz Insumo-Producto producida por el CEDE en el denominador. En los casos en que fue necesario fusionar sectores, los coeficientes de emisión nuevos se estimaron como el promedio ponderado por valor económico.

5.2.2 Proyección de las emisiones

A partir de la línea base de las emisiones del sector industrial para el 2008 y considerando variables económicas, se proyectaron hasta el 2020 las emisiones de material particulado, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales y dióxido de carbono.

Se plantearon tres escenarios para proyectar las emisiones en función del crecimiento del PIB real de la ciudad. El crecimiento del PIB se estimó a partir de datos oficiales (BAN-REP, 2009) del PIB nacional y de la participación de las ciudades en el mismo para el periodo 1994-2007. La tasa de crecimiento de cada año al siguiente, se calculó según la Ecuación 2.

$$Tasa_n = \ln \left(\frac{PIB_{n+1}}{PIB_n} \right)$$

Ecuación 2

46 La clasificación CIIU es una clasificación por tipo de actividad económica productiva. Se encuentra dividida en cuatro niveles, el primer nivel indica la Sección, se representa por una letra e indica la actividad principal, ejemplo la letra D se refiere a la actividad de Industria Manufacturera. Le sigue la división, los grupos y clases (categorías de dos, tres y cuatro dígitos, respectivamente) que se relacionan entre sí de acuerdo con la actividad que se desarrolla. Ejemplo: la clase (D2921) representa la actividad de fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal, por sus características, se encuentra dentro del grupo de fabricación de maquinaria de uso especial (D292) y a su vez pertenece a la división (D29) fabricación de maquinaria y equipo ncp, en un nivel más agregado (DANE, 2005).

En donde PIB representa el producto interno bruto real de la ciudad (millones de pesos) y el subíndice n (años) representan el periodo de tiempo analizado. El escenario base supone que las condiciones de la economía permanecen homogéneas y que el crecimiento de todos los sectores es uniforme durante el periodo de tiempo analizado. Los tres escenarios planteados corresponden a la tasa de crecimiento logarítmica media y a dos tasas de crecimiento con desviación del uno por ciento respecto a la media.

A partir de las tasas de crecimiento estimadas, y haciendo uso de la Ecuación 3 se proyectaron las emisiones para los tres escenarios de crecimiento.

$$E_n = E_o \cdot \exp(\text{Tasa} \cdot n)$$

Ecuación 3

En donde E_o (ton año⁻¹) corresponde a las emisiones del contaminante en el año base y E_n (ton año⁻¹) corresponde a las emisiones del contaminante en el año para el cual se realiza la proyección.

5.3 Generación del portafolio óptimo de medidas

5.3.1 Metodología de análisis y descripción del modelo

Una de las herramientas matemáticas disponibles para soportar los sistemas de apoyo a la decisión es la *optimización*. Sin embargo, para su aplicación adecuada es necesaria una etapa previa para entender y estructurar el problema subyacente a la decisión (Figura 42). Este proceso pretende identificar los actores involucrados y los alcances de la decisión. En otras palabras, se especifican los aspectos que estarán fuera del alcance de la decisión y, aquellos que se modificarán producto de la decisión. En esta etapa también se debe evaluar la disponibilidad de información, ya que no será posible determinar si una configuración de proyectos es más conveniente que otra si no existe información suficiente para compararlas.

Una vez se ha estructurado el problema se formula un modelo matemático. Dicho modelo busca representar matemáticamente de la situación a la que se enfrenta el tomador de decisión de una forma simplificada pero acorde con el alcance establecido. En este sentido, debe asegurarse que el modelo represente correctamente tres aspectos fundamentales: 1) las decisiones, 2) las reglas que limitan las decisiones y 3) el impacto de una decisión sobre uno o más criterios.

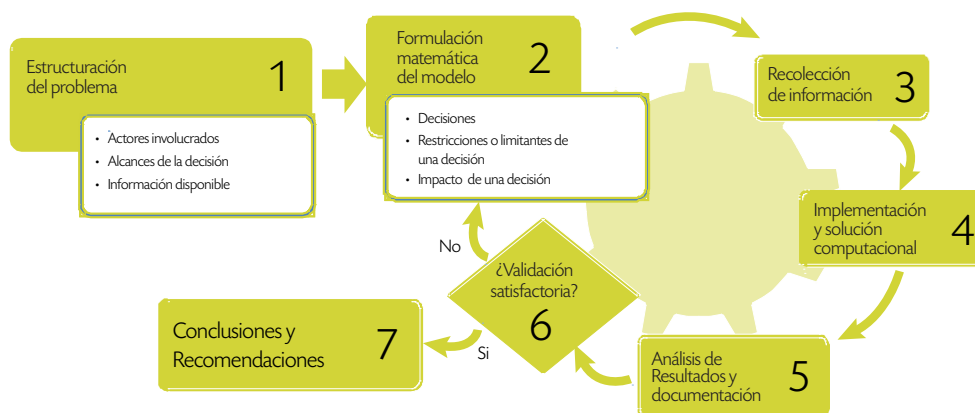


Figura 42. Toma de decisiones a través de optimización.

Fuente: Medaglia y Sefair (2009)

Una vez se ha realizado la abstracción matemática de la realidad (modelo), se debe recolectar la información necesaria, luego se debe realizar una traducción del modelo a un lenguaje que el sistema pueda procesar, y finalmente a través del computador, se pueden evaluar una gran cantidad de alternativas y escoger entre ellas la mejor. A partir de la solución encontrada se valida el modelo en conjunto con el tomador de decisión de tal forma que se ajuste a la situación real. Si no es así, el modelo debe ajustarse, replanteando la formulación matemática hasta realizar una validación satisfactoria. Cuando lo anterior ocurre, es posible determinar que se ha encontrado la mejor (o mejores) decisión de acuerdo a los criterios y alcance establecidos.

5.3.2 Estructuración del problema

Se considera un banco de proyectos como el que se muestra en la parte izquierda de la figura 43. Dicho banco de proyectos contiene todos los proyectos candidatos a ser ejecutados. En la parte derecha de la figura 43 se muestra como ejemplo la selección y programación de un subconjunto de los proyectos candidatos en un horizonte de planeación anual.

La parte inferior de la figura 43 también muestra que cada uno de los proyectos cuenta con dos etapas. La primera de ellas hace referencia a la implementación del proyecto, en donde gradualmente se introduce la medida de política ambiental. Por ejemplo, considere que uno de los proyectos se refiere a la reconversión a gas natural del sector industrial. Por lo tanto, el primer período de ejecución pretende la reconversión de 10% de la industria, en el segundo período se pretende llegar al 20%, y así sucesivamente hasta alcanzar al 40% de la industria. Estos períodos de implementación están representados en color gris para cada proyecto en la parte inferior de la figura 43. Por su parte, la porción restante de cada proyecto representa los períodos en donde se perciben los beneficios del mismo. Estos periodos están representados en color verde en la parte inferior de la figura 43. Debe aclararse que aunque aquí se presentan como excluyentes las etapas de implementación y generación de beneficios, es posible considerar que un proyecto genera beneficios desde el primer año de ejecución.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se aplicó un modelo matemático para la selección y programación de los proyectos del plan de descontaminación del aire para Bogotá. En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos en la estructuración del problema (Etapa 1), en donde se describen los actores involucrados, los alcances de la decisión y la información disponible.

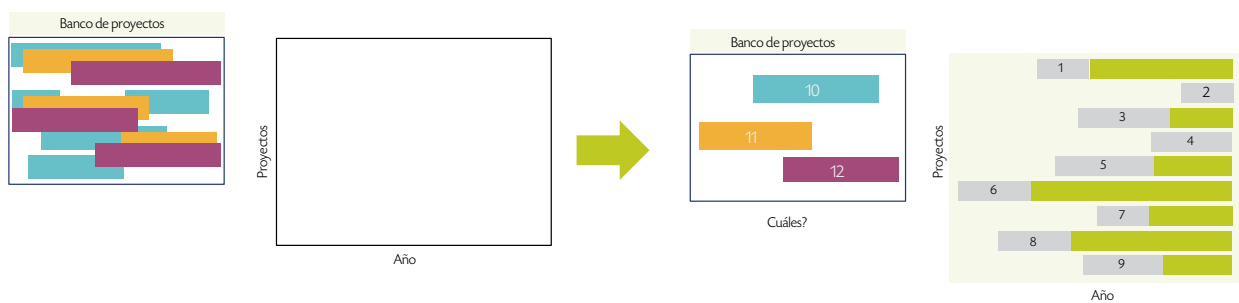


Figura 43. Esquema de selección y programación de proyectos.

Tabla 15. Resultados de la estructuración del problema

Actores involucrados	Gobierno distrital. Otras entidades del gobierno distrital y nacional. Ciudadanía. Sector privado.
Alcances de la decisión	A partir de un conjunto de proyectos candidatos, seleccionar y programar el mejor subconjunto de proyectos de descontaminación del aire, minimizando el costo económico de la decisión.

Información requerida	<p>Conjunto de proyectos candidatos.</p> <p>Conjunto de categorías en las que pueden ser clasificados los proyectos (e.g, tipo de fuente).</p> <p>Conjunto de modos en los que puede ejecutarse un proyecto.</p> <p>Longitud del horizonte de planeación (10 años).</p> <p>Fechas más temprana y tardía de inicio de cada proyecto.</p> <p>Categoría a la que pertenece un proyecto (un proyecto puede pertenecer a varias categorías).</p> <p>Número máximo de proyectos que es posible iniciar cada año.</p> <p>Costo económico de cada proyecto para cada uno de sus modos de ejecución.</p> <p>Meta de reducción de contaminantes que debe cumplirse al final del horizonte de planeación.</p> <p>Proyección de emisiones contaminantes para el horizonte de planeación.</p> <p>Reducción esperada de emisiones (impacto) de cada proyecto en cada período de ejecución y en cada modo de ejecución.</p> <p>Efecto de interacción sobre la reducción de emisiones entre dos o más proyectos dados sus modos de ejecución.</p>
-----------------------	---

5.3.3 Condiciones de operación del modelo matemático

Una vez se ha estructurado el problema y se ha establecido el alcance del modelo, es preciso determinar las reglas que limitan las decisiones, es decir, las condiciones que un portafolio de proyectos debe cumplir. Dichas condiciones son pieza fundamental en el modelaje matemático del problema, ya que permiten eliminar muchas configuraciones no factibles de proyectos de acuerdo a las características del problema. A continuación se presentan las reglas identificadas.

1. Un proyecto debe iniciarse solamente una vez dentro del horizonte de planeación. Esto debe cumplirse para cada proyecto, asegurando de esta forma que el modelo matemático no considere la ejecución de un proyecto más de una vez.
2. La cantidad de proyectos iniciados cada año no puede superar la máxima cantidad establecida. Esta regla cumple dos propósitos. En primer lugar, asegura que los proyectos sean ejecutados de forma balanceada durante todo el horizonte de planeación. En segundo lugar, esta condición permite modelar la capacidad de operación y gestión de proyectos que podría ser limitada. Esta condición asegura que el modelo no asigne una gran cantidad de proyectos para ser iniciados en un mismo año.
3. Una vez se inicie un proyecto, debe asegurarse su ejecución hasta el final del horizonte de tiempo. Esto permitirá contabilizar tanto el impacto de un proyecto como los costos económicos generados. En la figura 44 se muestra un ejemplo de esta condición. Allí el proyecto inicia en el año 3 del horizonte de planeación. Por lo tanto, debe asegurarse que dicho proyecto se termina de implementar en el año 7 y que continúa operando hasta el año 10 (fin del horizonte).

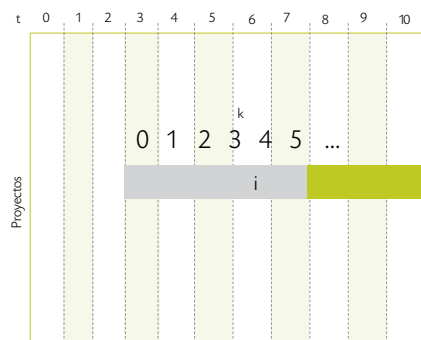


Figura 44. Ejecución de un proyecto.

4. La fecha de inicio de cada proyecto debe encontrarse dentro de la ventana de ejecución establecida. Esto permite considerar que la ejecución de un proyecto tenga que iniciarse antes o después de una determinada fecha. Por ejemplo, si el proyecto *i* de la figura 44 tuviera como fecha máxima de inicio el año 3, entonces debería iniciar en el año 0, 1, 2, ó 3 (si se escoge). No podría iniciar en ningún otro año del horizonte de planeación.
5. Para una determinada categoría, debe elegirse un número mínimo de proyectos. Esto asegura que el modelo matemático no elija proyectos de unas pocas categorías solamente. Por ejemplo, si los proyectos se han categorizado en aquellos que afectan fuentes fijas de emisiones y aquellos que afectan fuentes móviles, entonces podría especificarse que el modelo debe seleccionar al menos un proyecto en cada categoría. Una aproximación al tratamiento matemático de esta característica puede encontrarse en Sefair & Medaglia (2009).
6. Un proyecto debe ejecutarse solamente en uno de sus modos de ejecución. En este sentido se considera que un proyecto puede ejecutarse en varios modos, los cuales hacen referencia a la escala de operación del proyecto. Por ejemplo, considere un proyecto que pretende realizar la reconversión tecnológica de cierta industria. Los modos de ejecución de dicho proyecto se muestran en la figura 45, en donde se considera una escala de operación con impacto bajo, medio y alto. Por lo tanto, el modelo debe elegir el modo de ejecución más conveniente. Debe considerarse que la mejor elección no siempre es la elección del modo de ejecución con impacto más alto. Deben analizarse también los costos que involucra dicha decisión.

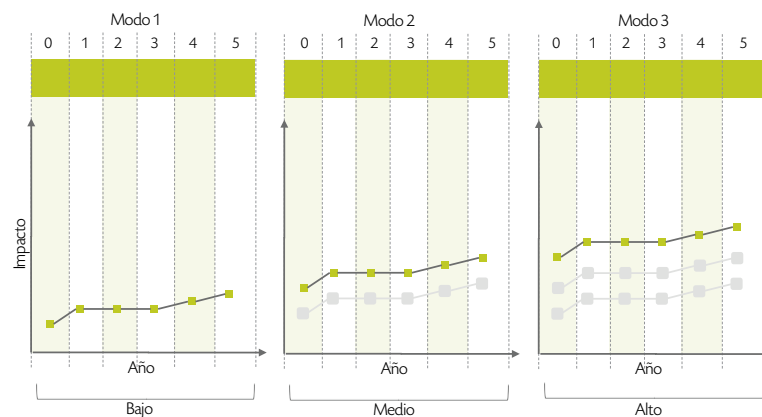


Figura 45. Modos de ejecución de un proyecto.

7. Al final del horizonte de planeación debe generarse un mínimo de beneficios ambientales (meta ambiental). Esto implica que el impacto agregado (beneficio) de la ejecución de los proyectos durante el horizonte de planeación debe ser superior o igual a la meta propuesta. En este sentido debe considerarse que los beneficios de un proyecto se cuantifican de acuerdo a la fecha en donde comenzó a ser ejecutado. Por ejemplo, en la figura 46 se presenta el impacto generado por un proyecto que se inicia en el año 3. Allí se estima que la ejecución del proyecto reducirá las emisiones en un 25% en su primer año de ejecución. Para el segundo y tercer año se esperan reducciones de 37.5% y 50%, respectivamente. Desde el tercer año (año en donde el proyecto se ha implementado completamente) se esperan reducciones del 75%. De esta forma, la figura 46 muestra el impacto proyectado si se ejecutara en el año 3 del horizonte de planeación. Debe tenerse en cuenta que para la cuantificación del impacto se debe considerar el ajuste de las emisiones proyectadas dada la ejecución de otros proyectos anteriormente. El impacto de un proyecto también puede cuantificarse de forma absoluta a través de la reducción estimada de contaminantes medidos en toneladas.

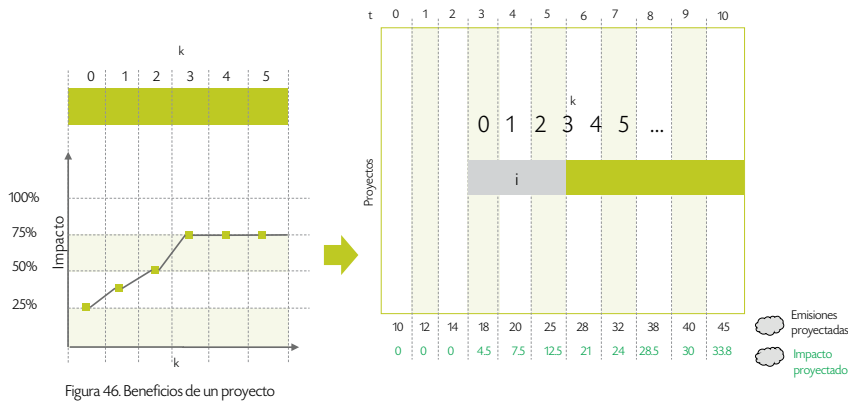


Figura 46. Beneficios de un proyecto

Figura 46. Beneficios de un proyecto.

Además de los beneficios individuales de cada proyecto, también deben considerarse las posibles interacciones entre proyectos. Es posible que si dos proyectos se ejecutan al tiempo los beneficios no sean equivalentes a la suma de lo que generaría cada proyecto por separado. Por ejemplo, considere el caso ilustrado en la figura 47 en donde se tienen los proyectos A y B. El proyecto A consiste en una medida de restricción vehicular mientras que el proyecto B consiste en la implementación de sistemas de control de emisiones en vehículos.

En la parte superior de la figura 47 se muestran los vehículos que estarían afectados si se implementara cada medida por separado. En la parte inferior se muestra el impacto de la ejecución de los dos proyectos al mismo tiempo. Allí se consideran tanto los vehículos que tienen restricción en la circulación como los vehículos que utilizan el sistema de control. Sin embargo, la intersección muestra aquellos vehículos que además de tener restricción en la circulación, tienen el sistema de control de emisiones. Por lo tanto, si dos proyectos se realizan al tiempo, es necesario considerar la interacción de los proyectos, ya que los beneficios generados no necesariamente serán equivalentes a la sumatoria de los beneficios generados individualmente por cada proyecto. Una aproximación matemática al tratamiento de estas interdependencias puede encontrarse en Zuluaga, Sefair & Medaglia (2007).

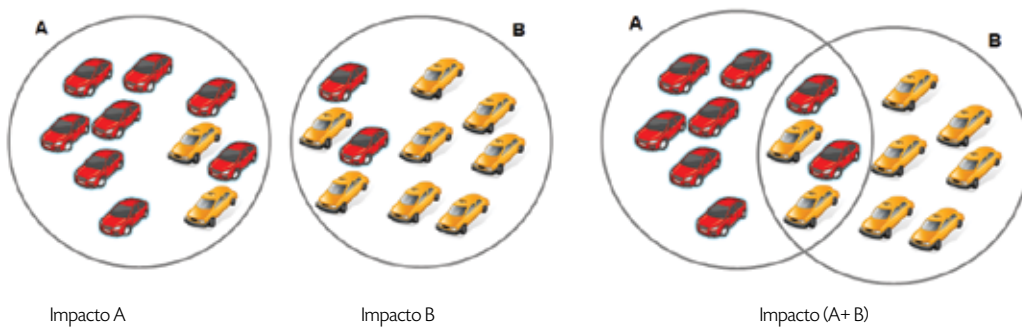


Figura 47. Interacción entre proyectos.

- La ejecución de los proyectos conlleva un costo económico que debe ser minimizado. Dicho costo económico representa el impacto que tiene sobre la sociedad la realización de cada proyecto. En la figura 48 se muestran los costos estimados para un proyecto. Dichos costos fueron estimados teniendo como referencia el año 0 del horizonte de planeación. Dado que el proyecto fue programado para el año 3 del horizonte, los costos deben ser ajustados para tener en cuenta el crecimiento de los sectores a intervenir.

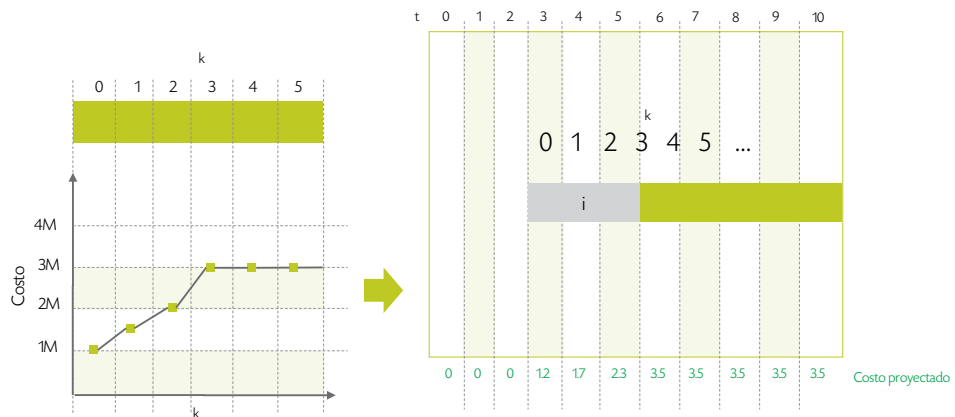


Figura 48. Costo económico proyectado.

5.3.4 Funcionamiento del modelo de optimización

El funcionamiento del modelo matemático se ilustra en la figura 49. Allí se presentan los resultados que podrían obtenerse al resolver múltiples modelos matemáticos para diferentes niveles de exigencia de la meta ambiental. En el caso ilustrado se pretende cumplir la meta generando el menor costo posible para la sociedad.

Por ejemplo, si se impone que el portafolio de proyectos debe generar como mínimo el nivel de reducción de contaminantes dado por la Meta 1 (representada por la línea en color rojo), entonces el mejor portafolio es el Portafolio A. Dicho portafolio implica la realización de 5 proyectos. Si se impone una meta más exigente como la considerada por la Meta 2 (en azul), entonces el portafolio que minimiza el costo sería el B, en el cual se realizan 9 proyectos.

De esta forma la frontera mostrada en la figura 49 contiene todos los portafolios en donde se cumplen diferentes niveles de exigencia de la meta ambiental al mínimo costo. Debe tenerse en cuenta que cada uno de los portafolios de proyectos presente en la frontera, debe cumplir las condiciones 1 a 8 presentadas en la sección 5.3.3. A través de este análisis es posible generar esta frontera de Pareto y presentar al decisor múltiples alternativas que ilustran el compromiso entre costo y beneficios ambientales. Aplicaciones de la construcción de esta frontera de Pareto pueden encontrarse en Medaglia et. al, (2008) y Sefair & Medaglia (2005).

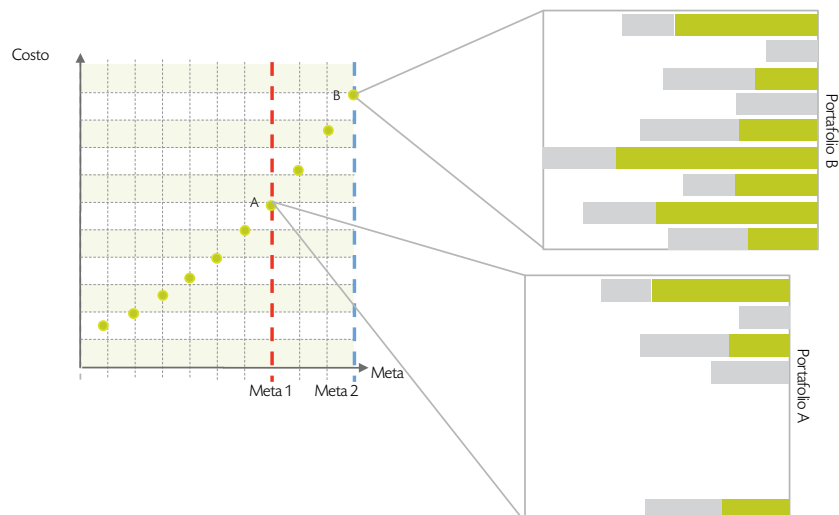


Figura 49. Análisis de resultados.

5.4 Cálculo de los beneficios

En el ámbito internacional los beneficios esperados en la salud de la población asociados con la reducción de la contaminación atmosférica constituye el argumento más importante para implementar planes de descontaminación (Künzli et al., 2007; Larsen, 2004; Comisión Ambiental Metropolitana, 2002; Sánchez et al., 1998).

La revisión de estudios nacionales e internacionales permitió identificar las metodologías específicas que constituyen los diferentes pasos necesarios para estimar los beneficios en salud de los planes de descontaminación. En el Manual para la Elaboración de Planes de Gestión de la Calidad del Aire (MAVDT, 2008) se presenta una metodología general para la estimación de los beneficios en salud derivados de mejoras en la calidad del aire. Según este documento la estimación de beneficios expresados como la reducción del número de casos en morbilidad y mortalidad consta de 4 etapas: 1) Determinación de la línea base de un efecto en la población; 2) Determinación del nivel de exposición de la población a un contaminante, 3) Estimación cuantitativa de los efectos en la salud de la población debidos a la exposición de un contaminante de interés y 4) la valoración económica de estos beneficios.

La metodología de valoración establecida por el MAVDT (2008) es una metodología estándar propuesta por la EPA (EPA, 2004b) y por lo tanto similar a las metodologías utilizadas en los estudios que hicieron parte de la revisión bibliográfica desarrollada para este trabajo. Esta metodología sirvió de base para el desarrollo de los resultados que serán presentados en las páginas posteriores de este documento.

La valoración de los beneficios de un plan de descontaminación implica la evaluación de los efectos en salud bajo un escenario tendencial, en el cual las concentraciones de los contaminantes siguen un crecimiento inercial, y su comparación con los efectos en el escenario con la aplicación del plan de descontaminación. La diferencia entre ambos escenarios constituye los beneficios de la implementación del plan. La valoración del impacto en salud comprende dos etapas fundamentales: 1) Cálculo del número de casos evitados o generados (morbilidad y mortalidad) debidos a los cambios en los niveles de contaminación y 2) Valoración de los impactos en términos económicos.

5.4.1 Área de estudio y horizonte temporal del análisis

El análisis se centra sobre la población del área urbana de Bogotá en un horizonte temporal de diez años (2010-2020).

5.4.2 Indicador de calidad del aire utilizado en la valoración

En la atmósfera se encuentran presentes al tiempo una variedad de sustancias contaminantes que interactúan entre ellas y pueden encontrarse interrelacionadas. Existe evidencia toxicológica de la aparición de efectos específicos en la salud para los diferentes contaminantes, algunos de los cuales pueden ser similares o idénticos (Griffin, 2007).

El impacto en la salud por la exposición a la contaminación atmosférica hace referencia al efecto global de los contaminantes presentes en el aire. Sin embargo, debido a que los efectos pueden ser similares o estar influenciados por relaciones sinérgicas entre los contaminantes, una suma de la evaluación de los efectos individuales puede resultar en una sobreestimación del impacto total (Künzli et al., 2007). Por esta razón, la evaluación generalmente se realiza con base en un solo indicador de la calidad del aire, que sea representativo de la contaminación en el área de estudio y que además pueda ser relacionado con los efectos sobre la salud de la población (Comisión Ambiental Metropolitana, 2002; Sánchez et al., 1998).

Para este trabajo se seleccionó el material particulado en su fracción respirable (PM_{10}) como el indicador de la contaminación, por las razones que se mencionan a continuación: 1) Se ha documentado en la literatura médica la existencia de efectos negativos sobre la salud que afectan principalmente

los sistemas respiratorio y cardiovascular (EPA, 2004); 2) Se cuenta con evidencia epidemiológica suficiente que demuestra que la contaminación por material particulado afecta la salud de la población; especialmente la de los grupos sensibles, y que esta contaminación puede ser considerada un problema de salud pública (OMS, 2005); 3) Es el principal objetivo en cuanto a reducción de las emisiones en el plan de descontaminación y 4) Para este contaminante se cuenta con registros históricos confiables generados por la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá.

Estimación del número de casos de morbilidad y mortalidad evitados con la implementación del plan de descontaminación

La estimación de beneficios en salud se desarrolló mediante el uso de funciones concentración respuesta (FCR). Una FCR representa el promedio de la respuesta humana asociada a la exposición a un contaminante. Esta función permite determinar la variación en el número de casos de un efecto dado sobre la población debido a la variación de un factor de riesgo, para este caso la contaminación atmosférica. El número de casos evitados, para cada efecto asociado, se calculó según lo establecido en la Ecuación 4.

$$H = FAP \cdot I_t \cdot \Delta C \cdot N$$

Ecuación 4

En donde H es el número de casos atribuibles a un cambio en la concentración del contaminante; FAP es la fracción atribuible poblacional, definida como el porcentaje de casos que pueden ser evitados en la población si se suprime el factor de riesgo (Walter, 1975 en Llorca, 2001); I_t es la línea base del efecto (número de casos por habitante al año) del efecto evaluado en la población (la línea base para los efectos evaluados); ΔC es el cambio en la concentración del contaminante y N es el número de personas expuestas.

El término de las FCR que relaciona el cambio en la concentración de los contaminantes con la aparición de efectos⁴⁷ en la salud de la población es la FAP. Como se muestra en la Ecuación 5 la FAP se construye a partir del riesgo relativo (RR) y la fracción de la población expuesta a un factor de riesgo (pe). Debido a que toda la población de la ciudad está expuesta a la contaminación del aire, $pe = 1$.

$$FAP = \frac{p_e(RR-1)}{p_e(RR-1)+1}$$

Ecuación 5

La metodología utilizada en la estimación de los beneficios en salud, dada como número de casos de morbilidad y mortalidad evitados por la reducción de la contaminación atmosférica se presenta en la Figura 50. En las siguientes secciones se describe cada una de las etapas de la metodología.

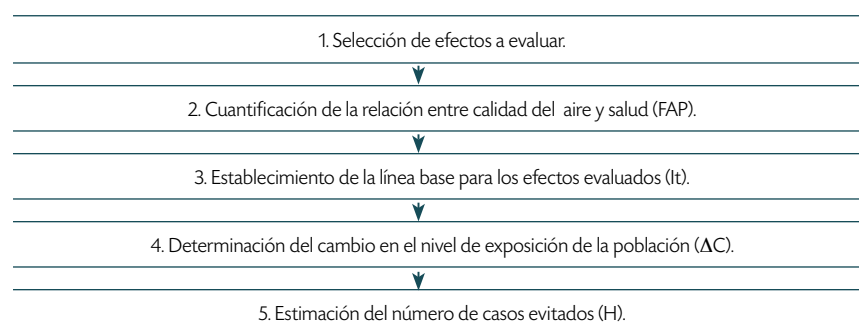


Figura 50. Estructura metodológica para la determinación del número de casos evitados por una reducción en la concentración de PM_{10} .

47 Efecto se entiende como la variación de un parámetro en la salud (enfermedad o muerte) asociado a un cambio en las condiciones externas.

5.4.3 Selección de efectos

Si bien existen múltiples efectos (respiratorios y cardiovasculares) relacionados con la contaminación del aire, para el análisis se seleccionaron los efectos más relevantes según la frecuencia con que se presentan y los costos económicos que representan. La disponibilidad de información local (línea base del efecto) también fue un factor determinante en la selección de los efectos que se incluyeron en el análisis.

Los efectos en la salud relacionados con la contaminación del aire se clasifican en dos grandes grupos: 1) Efectos en mortalidad y 2) Efectos en morbilidad. Los efectos en mortalidad hacen referencia al número de muertes asociadas a la contaminación, mientras que los efectos en morbilidad hacen referencia al número de casos de enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica.

Los efectos en morbilidad a su vez se subdividen en: a) Morbilidad atendida, referente al uso de asistencia médica por parte de la población y b) Morbilidad sentida, la cual se asocia a la aparición de síntomas sin que la persona afectada haga uso de asistencia médica.

5.4.4 Funciones concentración respuesta

El riesgo relativo (RR) es la razón entre la incidencia de un efecto en una población expuesta a un factor de riesgo, frente a la incidencia del efecto en una población no expuesta o para el caso de la contaminación atmosférica menos expuesta. El RR se obtiene a través de estudios epidemiológicos⁴⁸.

La exposición a la contaminación atmosférica, tema que ha sido estudiado ampliamente, es un factor de riesgo que genera diversos efectos en la salud (Griffin, 2007; EPA, 2003). Los RR determinados en los diferentes estudios son utilizados como elemento de soporte para el desarrollo de las normas de calidad del aire y en la evaluación del impacto de la contaminación en términos de salud pública (OMS, 2005).

Con el objetivo de identificar los RR se realizó una revisión bibliográfica de los estudios epidemiológicos que relacionan la exposición a concentraciones ambiente de PM_{10} con la aparición de efectos en la salud. En la revisión se incluyeron documentos que hacen parte de una de estas cuatro categorías: 1) Documentos soportes de norma (OMS, 2005; EPA, 2004), 2) Planes de descontaminación de otras ciudades, 3) Compilación de estudios epidemiológicos realizados en América Latina (Organización Panamericana de la Salud, 2005) y 4) Estudios epidemiológicos disponibles en literatura indexada. En los análisis se consideraron de manera prioritaria los estudios desarrollados en América Latina de los cuales se supone que las características poblacionales presentan mayor similitud con las de Bogotá.

En los casos en que no fue posible encontrar riesgos relativos para la evaluación de algunos efectos específicos en salud se usaron las proporciones históricas locales. Estas proporciones se validaron con los registros de salud de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá y con expertos en este tema de la misma institución.

Debido a las diferencias en la temporalidad del análisis, se evaluaron de distinta manera los efectos asociados a material particulado por exposición aguda y los efectos relacionados con exposición crónica. De acuerdo con la definición del riesgo relativo en los efectos de exposición aguda, es de esperarse que el beneficio se presente completamente en el momento en que se logra la reducción en la concentración de PM_{10} , de este modo se tiene un RR que cambia de manera inmediata con el cambio en los niveles del contaminante. Mientras que en el caso de los efectos asociados a exposición crónica, los RR han sido construidos a partir de estudios de cohorte prospectiva, y por lo tanto no existe una clara definición temporal del momento en que se presenta el efecto completo sobre

⁴⁸ El diseño de los estudios puede variar según el efecto que quiera evaluarse. Los estudios incluidos en la revisión utilizan para la evaluación de efectos agudos series de tiempo. Para la evaluación de efectos crónicos se realizan estudios de cohorte prospectiva. En ambos casos se incluyeron estudios con análisis multivariado y con corrección por factores de confusión.

la salud. Sin embargo, por las características de la exposición crónica se supone que los beneficios se empiezan a presentar de forma gradual a partir del momento en el que se logra la mejora sostenida en la calidad del aire.

Para la estimación de los beneficios por reducción de la exposición crónica se realizó una aproximación metodológica basada en el trabajo desarrollado por Rööslí et. al., (2005) y Miller & Hurley (2002). Según ésta, la manifestación de los beneficios en salud asociados a una reducción sostenida en la exposición crónica de la población, se empiezan a presentar de forma parcial desde el momento en que se da la mejora en la calidad del aire (40% del efecto se manifiesta a partir del año 1 de la reducción) y se logra completamente y de manera gradual en un periodo de tiempo determinado. Para este estudio se supuso que en un periodo de 10 años se manifiestan completamente los efectos.

5.4.5 Línea base de los efectos evaluados

El término I_t de la Ecuación 4 con la cual se estiman las FCR corresponde a la línea base del efecto que se está evaluando para la población de estudio. Estas proporciones representan el número inicial de casos que se están presentando en la ciudad y por lo tanto constituyen la línea base de la evaluación.

La principal fuente de información de línea base de los efectos son los registros epidemiológicos locales. En la revisión de estos registros para el caso de Bogotá se identificaron las siguientes bases de datos disponibles: 1) Base de datos del registro individual de prestación de servicios de salud (RIPS) del Ministerio de la Protección Social; 2) Sistema de estadísticas vitales del Departamento Nacional de Estadística (DANE); 3) Infraestructura Colombiana de Datos –DANE; 4) Compilación y análisis de datos epidemiológicos en Bogotá (Muñoz & Behrentz, 2009); 5) Sistema de vigilancia epidemiológica (SIVIGILA); 6) Boletines epidemiológicos de la Secretaría Distrital de Salud (SDS) y 7) Encuesta Nacional de Salud (2007).

A partir de la revisión de estas bases de datos se identificaron las que podrían ser utilizadas para establecer la línea base de los diferentes efectos a evaluar. Para mortalidad se identificaron las siguientes bases de datos: 1) Sistema de estadísticas vitales del DANE; 2) Infraestructura colombiana de datos (DANE) y 3) Compilación y análisis de datos epidemiológicos en Bogotá (Muñoz & Behrentz, 2009). Para morbilidad atendida se identificaron las siguientes fuentes de información: 1) Base de datos del registro individual de prestación de servicios de salud (RIPS) del Ministerio de la Protección Social; 2) Compilación y análisis de datos epidemiológicos en Bogotá (Muñoz & Behrentz, 2009); 3) Sistema de vigilancia epidemiológica (SIVIGILA) y 4) Boletines epidemiológicos de la Secretaría Distrital de Salud (SDS). Para el establecimiento de la línea base en morbilidad sentida, se identificó la Encuesta Nacional de Salud como una fuente de información válida.

Con el fin de seleccionar la información que conformaría la línea base, se evaluó la calidad de la información de las diferentes bases de datos disponibles teniendo en cuenta el cubrimiento poblacional de la base (porcentaje de la población cubierto por la base de datos) y el periodo de tiempo para el que se cuenta con información disponible (número de años con información). Adicionalmente, se realizó un análisis de los registros en el que se evaluaron para los diferentes años los siguientes parámetros: número de registros anuales, variabilidad anual del número de registros, consistencia entre los registros de un mismo año y consistencia de los registros para cada efecto entre las bases evaluadas. Este análisis se complementó con una investigación con el fin de conocer la opinión de expertos de las entidades responsables de la información en cuanto a la calidad y potencial de uso de las bases de datos.

Los datos poblacionales utilizados en la determinación de la línea base de los efectos en salud corresponden a las series de población desarrolladas por el DANE a partir de la información obtenida del censo general 2005 y a la proyección de estos datos para el periodo de interés de este estudio (2010-2020), realizada por la misma entidad.

La línea base para los efectos evaluados se calcularon a partir de los datos poblacionales y epidemiológicos para el año de referencia. Estos resultados se presentan como número de casos por cada

1,000 habitantes al año. Para la determinación de la línea base de mortalidad la información se corrigió por muertes violentas.

5.4.6 *Determinación del cambio en el nivel de exposición a la contaminación atmosférica*

La evaluación de los efectos en salud considera el cambio en el factor de riesgo debido a un cambio en los niveles de exposición (ΔC , ver Ecuación 4). Como ya se mencionó, el factor de riesgo es la exposición de la población a la fracción respirable de material particulado.

En todos los estudios epidemiológicos que sirvieron de base para la elaboración de este trabajo, los niveles de exposición de la población se determinan a partir de las concentraciones de material particulado registradas por las estaciones fijas de monitoreo de calidad del aire. Utilizando dichos valores y los registros epidemiológicos de cada ciudad se estima el riesgo relativo para los diferentes efectos evaluados. Siendo consistentes con la metodología utilizada en los estudios originales, para este trabajo los niveles de exposición de la población se basan en los valores registrados por la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá para el año base y a las proyecciones de dichos valores para el horizonte de análisis (2010-2020). Los niveles de material particulado se estimaron siguiendo la metodología de análisis de componentes principales.

En los estudios en los que se evalúan efectos de la exposición crónica a material particulado se utilizan promedios anuales de concentración. Por otra parte, en los estudios en los que se evalúan efectos asociados a la exposición aguda generalmente se utilizan promedios diarios de concentración para estimar los efectos en salud. Debido a la dificultad técnica de realizar proyecciones diarias de concentración de PM para el horizonte de análisis del plan (2010-2020), se supuso que los cambios en la concentración promedio anual son representativos de los cambios diarios y por lo tanto pueden ser utilizados para la evaluación de efectos relacionados con exposición aguda. Esto supone que los cambios en los promedios diarios se ven reflejados en un cambio en el promedio anual de concentración, lo cual es de esperar a partir de la definición matemática del promedio.

El término ΔC de la Ecuación 4, se estimó como la diferencia en la concentración anual de PM entre el escenario tendencial y el escenario con plan. Los valores de concentración utilizados para el escenario tendencial corresponden a los estimados a partir de las proyecciones de las emisiones para estos años, mientras que los valores de concentración utilizados en el escenario con plan son el resultado en términos de concentración de implementar el portafolio óptimo de medidas del plan. El uso de ΔC evaluado de la manera como se explicó anteriormente, permite estimar el número de casos de morbi-mortalidad que se evitarían con la implementación del plan de descontaminación respecto al escenario tendencial.

Es necesario mencionar que no existe un umbral de concentración reportado en la literatura para la aparición de la mayoría de los efectos en salud. Solo los efectos en mortalidad presentan un umbral de concentración de $PM_{2.5}$ estimado de $7.5 \mu g.m^3$, por debajo del cual no se ha demostrado que se presenten casos atribuibles a la contaminación por material particulado (WHO, 2002). Por tal razón, pese a cumplir los objetivos de reducción de acuerdo con la normativa nacional, se seguiría contando con una carga de enfermedad atribuible a la concentración remanente de material particulado. La reducción en la concentración de PM significa también una reducción en la carga de morbi-mortalidad. Por esta razón, la evaluación de los casos evitados frente a la carga total de enfermedad por la contaminación por material particulado es también un elemento importante para el análisis de beneficios derivados del plan.

5.4.7 *Estimación de costos*

La valoración monetaria de los beneficios en la salud por la reducción en la concentración de material particulado está asociada con la reducción en el número de casos de morbilidad y mortalidad. La revisión bibliográfica realizada permitió identificar dos enfoques principales para realizar esta valoración: 1) la evaluación de los costos de enfermedad (COI por sus siglas en inglés) los cuales incluyen los

costos de atención de la enfermedad y la pérdida de productividad por la restricción en la actividad laboral; y 2) la valoración de la disponibilidad a pagar (WTP por sus siglas en inglés) por evitar los episodios de enfermedad o reducir el riesgo de muerte. La WTP incluye los valores cuantificados mediante COI más la valoración que los individuos hacen de la pérdida de bienestar que implica sufrir el efecto en la salud.

Mientras los valores de COI suelen ser relativamente sencillos de determinar para el contexto local los valores de WTP requieren el desarrollo de estudios más largos y costosos (Ibáñez et al, 2002) lo cual hace menos probable que estos valores estén disponibles para países en vía de desarrollo. Cuando no se cuenta con estudios locales disponibles de WTP para los efectos a evaluar puede usarse la metodología de transferencia de beneficios (BT por sus siglas en inglés). Esta metodología permite el traspaso del valor monetario de un bien ambiental determinado para un sitio de estudio a un nuevo contexto político (sitio de intervención) (Brouwer, 2000). Para todos los casos de WTP en esta valoración se usó BT. Para los valores en dólares se usó una tasa de cambio de 1 USD = 2,170.375 COP.

En términos generales la evaluación de los beneficios requiere conocer el valor monetario de cada uno de los efectos en salud para posteriormente con el número total de casos evitados conocer el beneficio total.

El PDDAB reporta todos sus datos de costos asumiendo precios constantes del 2009. Debido a la discusión existente sobre la tasa de descuento a usar para estimar el valor presente neto de los beneficios ambientales durante un periodo de tiempo (Saavedra, 2009) se realizó la evaluación de cuatro escenarios: 1) TD0 en donde no se incluye tasa de descuento (tasa de descuento = 0%); 2) 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), 3) TD2, tasa de descuento variable y decreciente en el tiempo (4.38% – 3.49% para un periodo de 10 años) acorde a Saavedra (2009) y 4) 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).

5.4.7.1 Morbilidad

Diversos autores coinciden en afirmar que la mejor expresión monetaria de los beneficios en salud corresponde a los valores de disponibilidad a pagar (Cifuentes et al, 2005, Mendieta, 2005, Freeman III, 2003). Esto debido a que la WTP permite la valoración de elementos intangibles como la pérdida de bienestar asociada con el dolor y el sufrimiento de la enfermedad (Cifuentes et al; 2005). Al contar con una mayor integridad en la estimación de los beneficios la valoración de la WTP reviste también de mayor importancia en términos de evaluación de políticas públicas e inversión en proyectos ambientales (IDEAM, 2003; Ibáñez et al, 2002). El análisis de COI por su parte se considera un límite inferior de la valoración (Freeman III, 2003).

Sin embargo, resulta de interés, también, conocer los resultados de una valoración mediante COI que permita comparar con los costos directos de atención de enfermedades. Por esta razón para la evaluación de la morbilidad se consideran los dos escenarios de valoración (COI y WTP). A continuación se describe la metodología para estimar los valores unitarios de los efectos en morbilidad en ambos escenarios de valoración.

Costos de enfermedad

Los COI hacen referencia a dos componentes: 1) los costos directos del tratamiento de la enfermedad (costos de atención) y 2) los costos asociados a la pérdida de productividad por incapacidad laboral.

Para la valoración de estos costos se realizó una investigación que permitió identificar el consumo de recursos y procedimientos realizados para los diferentes efectos que se evaluaron. Se identificó también el tiempo de uso de los diferentes niveles de asistencia médica para estos efectos. Esta informa-

ción se obtuvo a través de consulta directa con la Secretaría Distrital de Salud y fue complementada con una revisión bibliográfica para identificar las principales características del tratamiento de las enfermedades evaluadas (American Heart Association 2008, Liao et al, 2006, ISS 1998).

El consumo de recursos y los procedimientos realizados en cada nivel de atención fueron valorados según el Manual Tarifario SOAT. Las tarifas consignadas en este manual (Decreto 2423 de 1996, actualización 2009) son de obligatorio cumplimiento para las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) públicas y es usado de forma obligatoria en algunos casos específicos por las entidades privadas. Estas tarifas son aceptadas por las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS), según información validada con la Asociación Colombiana de Clínicas y Hospitales (ACCH).

Las pérdidas en la productividad hacen referencia a las asociadas a los días no laborados por el efecto de la enfermedad (atención hospitalaria y orden de incapacidad expedida por el médico). La información sobre los días de atención para los efectos evaluados se obtuvo a través de la SDS y se complementó con una revisión bibliográfica (American Heart Association, 2008) y mediante consulta directa a especialistas de la salud. Según las fuentes de información utilizadas en promedio se generan dos días de incapacidad por cada día de hospitalización y tres días de incapacidad por cada día que se pase en la unidad de urgencias o en la de cuidados intensivos. Como una medida para valorar el trabajo de las personas se asume que todos los casos de incapacidad generan pérdida en la productividad aún cuando la persona no tenga un empleo formal. La incapacidad de los niños genera también pérdida de productividad al implicar el acompañamiento de un adulto.

Para cuantificar el costo asociado a la pérdida de días laborales, se construyó un rango donde el límite superior corresponde al PIB per cápita diario para Bogotá (DANE, 2009) y el límite inferior corresponde 1 SMMLVD. El valor central corresponde al promedio de estos dos valores. Los resultados de la valoración se reportan con el valor central.

Disponibilidad a pagar

No se encontraron valores locales de WTP calculados con información primaria que coincidieran con los efectos evaluados. Se recurrió al uso de valores determinados por otros estudios realizados en América Latina los cuales están compilados en la revisión realizada por Cifuentes et al (2005). Los valores fueron transferidos usando BT al contexto colombiano. Se incluyeron también los valores de WTP por evitar admisiones hospitalarias por causas respiratorias calculados por Lozano (2004) para Colombia usando BT.

5.4.72 Mortalidad

La contaminación atmosférica tiene como uno de sus efectos asociados, de mayor impacto, a la muerte prematura. En este estudio se utilizó el valor estadístico de la vida (VSL, por sus siglas en inglés) como metodología de valoración económica de la mortalidad.

El VSL es una aproximación económica útil en la valoración de la reducción de los casos evitados en mortalidad como resultado de la implementación de mejoras ambientales (Bowland & Beghin, 2001). Es una metodología de amplia implementación en términos de evaluación de políticas e inversión ambiental (Arigoni Ortiz, Markandya, & Hunt, 2009).

El VSL es la metodología utilizada por la EPA (2004b) y por la Comisión Europea de Ambiente (CAFE, 2005) para expresar los beneficios de la reducción del riesgo de mortalidad en términos monetarios y de esta forma realizar los análisis costo beneficio de sus normas y programas (EPA, 2004b).

El VSL representa la WTP por la disminución del riesgo de muerte. Es decir, representa la cantidad de dinero que una persona está dispuesta a pagar por disminuir un factor de riesgo de muerte. Este valor no representa el valor de la vida sino el valor asociado a una reducción en el riesgo de muerte. En este caso entendido como la reducción de los niveles de concentración de material particulado.

El valor estadístico de la vida se calcula mediante fuentes primarias usando la metodología de valoración contingente. De este modo se realizan encuestas que permiten identificar la WTP de las personas por reducir un riesgo específico o la disponibilidad a aceptar por exponerse a un factor de riesgo. El VSL es específico para cada país y contempla la disponibilidad a pagar de sus ciudadanos en su contexto económico, social y cultural. No existe en Colombia estudios en los que se haya construido el VSL a partir de información primaria. Por esta razón, en este estudio se estimó el VSL mediante transferencia de beneficios. Se usó el mismo valor de VSL para niños que para adultos. Esto coincide con evaluaciones realizadas en Europa (Pérez et al, 2009). No obstante, difiere de lo hallado en ciudad de México por Hammitt & Ibarrán (2002) quienes encontraron valores mayores de VSL para los menores de edad.

5.4.7.3 Transferencia de beneficios

La transferencia de beneficios puede realizarse mediante la transferencia de valores y la transferencia de funciones. Se utilizó la transferencia de valores, la cual consiste en realizar la transferencia de un valor económico promedio basado en un conjunto de estudios desarrollados en un contexto socio-económico similar al del sitio de intervención (Carriazo, Ibáñez, & García, 2003).

Para la transferencia de un valor se requieren dos elementos: 1) La transferencia del valor entre países que se realiza con base en los cambios en el PIB per cápita en términos de poder de paridad adquisitiva (PPP) entre el sitio de estudio y el sitio de intervención y 2) La transferencia del valor en el tiempo hasta el año de evaluación usando la variación en el índice de precios al consumidor (IPC). La ecuación 6 muestra la expresión matemática para la transferencia de un valor. En donde el subíndice "i" representa los valores para el sitio de intervención mientras que "e" representa los valores para el sitio de estudio. El valor transferido mediante esa ecuación debe ser llevado a valor presente. Los valores de IPC y PIB per cápita en términos de PPP fueron obtenidos de la World Economic Outlook Database –Actualización octubre de 2009 del Fondo Monetario Internacional.

$$\text{Valor}_i = \text{Valor}_e \cdot \frac{\text{PIB}_{PCPPP_i}}{\text{PIB}_{PCPPP_e}}$$

Ecuación 6

La transferencia de beneficios es la aproximación más adecuada para determinar un valor en un contexto dado, ante la imposibilidad de calcularla con información primaria (Freeman III, 2003). Debe procurarse que exista similitud entre el sitio de estudio y el sitio de intervención. Para tal fin, se realizó una revisión de los estudios desarrollados en América Latina que determinaron el VSL. En la BT de esta evaluación se tuvieron en cuenta los resultados de tres estudios: 1) la investigación desarrollada por Arigoni Ortiz et al (2009) en Sao Paulo; 2) el desarrollado por Hammitt & Ibarrán (2002) en ciudad de México y 3) el realizado en Santiago de Chile por Bowland & Beghin (2001). Los dos primeros usan metodología de valoración contingente para la determinación del VSL mientras que el desarrollado por Bowland & Beghin (2001) consiste en una transferencia de beneficios usando transferencia de la función la cual es ajustada por diferentes aspectos socioeconómicos.

5.4.7.4 Incertidumbre

Asociada a la metodología usada en la evaluación, la disponibilidad de información y los supuestos realizados en la valoración se presenta una incertidumbre en los cálculos realizados. Los resultados se presentan con un intervalo de confianza. Sin embargo, este intervalo corresponde exclusivamente al proporcionado en el RR de los estudios epidemiológicos usados para la evaluación de los efectos y no representa la totalidad de la incertidumbre. Atendiendo a lo anterior, los valores obtenidos en este informe deben entenderse como un orden de magnitud de los efectos (número de casos y estimación de costos) de la contaminación sobre la salud de la población y no como valores exactos.

Se realizó una descripción detallada de los factores de incertidumbre identificados, los cuales se exponen a continuación.

Funciones concentración respuesta (FCR): Una de las principales limitaciones para la adecuada utilización de las FCR es la disponibilidad de información local. Para el caso específico de Bogotá no se cuenta con suficientes estudios que determinen el riesgo relativo por exposición a material particulado para los diferentes efectos evaluados en salud. Por esta razón se utilizaron RR determinados para otras ciudades. Esto supone que la respuesta epidemiológica de la población bogotana frente a la contaminación es similar a la de la población de los estudios originales.

Para minimizar el error debido a este supuesto se le dio prioridad a estudios epidemiológicos desarrollados en países de América Latina, para los cuales se espera que la población tenga un comportamiento muy similar al de Colombia. Es importante resaltar que esto constituye una limitación muy común en el uso de FCR según la revisión de bibliografía realizada.

Representatividad poblacional de las bases de datos de morbilidad y mortalidad: Se realizó una rigurosa revisión de información local para identificar las bases de datos de morbilidad y mortalidad disponibles para la ciudad. La revisión realizada incluyó el diálogo directo con las diferentes entidades responsables de la recopilación de datos epidemiológicos en el país.

En Colombia existen tres regímenes de salud: 1) Régimen contributivo, constituido por la población con empleo formal, quienes aportan al sistema de salud, 2) Régimen subsidiado, representado por las personas de bajos ingresos que reciben cobertura del SISBEN y 3) Régimen vinculado, el cual es un régimen transicional hacia el régimen subsidiado.

El régimen vinculado está constituido por personas que no están empleadas formalmente y por ende no están cubiertas por el régimen contributivo. A su vez, por problemas en la expansión de la cobertura del sistema de salud aún no se encuentran cubiertas por el régimen subsidiado. Las personas pertenecientes a este régimen no tienen capacidad de pago para acceder a los servicios de salud y son considerados como población vulnerable por su bajo nivel de ingresos. Adicionalmente, podría esperarse que su vivienda se encuentre ubicada en zonas de mayor concentración de PM_{10} . Como consecuencia de lo anterior, la línea base de enfermedades respiratorias en este segmento de la población podría ser mayor que la del resto de la ciudad.

La frecuencia inicial de casos para los efectos evaluados en este trabajo se calculó con información del régimen vinculado de salud debido a que no se encontró información completa para los otros regímenes. Se supuso que la proporción de casos registrada en este régimen es representativa para toda la población de la ciudad. Según cifras oficiales (Ministerio de la Protección Social) el régimen vinculado representa alrededor del 30% de la población bogotana. Teniendo en cuenta las características de este régimen, el supuesto utilizado podría llevar a una sobreestimación de la línea base.

Línea base: Después de hacer una revisión detallada de las bases de datos de salud disponibles para la ciudad, se decidió utilizar los registros de salud del 2006 para el establecimiento de la línea base. Al momento del desarrollo de este estudio la información del 2006 constituyó la información más completa y reciente sobre los efectos en salud de la población de Bogotá. Se supuso que las tasas de incidencia son constantes entre el 2006 y el periodo de análisis del PDDAB (2010-2020).

Efectos de salud incluidos en la valoración: La selección de los efectos incluidos en la valoración del impacto de la calidad del aire en la salud depende de tres aspectos principales: 1) La existencia de la relación causal entre la exposición al contaminante y el efecto evaluado, 2) La disponibilidad de información para el uso de la función concentración respuesta, incluyendo la existencia misma de la FCR y 3) La relevancia del efecto en términos de salud y en términos económicos.

De estos aspectos, la disponibilidad de información, y específicamente de la proporción de casos que se presentan actualmente en la ciudad para cada efecto en la salud fue la principal limitación para la valoración realizada en este trabajo. La información disponible en los registros locales de salud limitó la evaluación de algunos efectos de la línea base de morbilidad sentida. La no inclusión de la totalidad de los efectos implica una potencial sub-estimación de los beneficios estimados en salud. Por ejemplo, no se cuenta con información local acerca de la tasa de prevalencia de la bronquitis crónica. En

un estudio acerca de los costos ambientales en Colombia (MAVDT, 2004) mediante una tasa de prevalencia de otro país, Larsen estimó que la bronquitis crónica podía representar el 17% de los costos en morbilidad asociados a la contaminación del aire.

Fracción $PM_{2.5}/PM_{10}$: En este estudio se utilizó 0.5 como la fracción $PM_{2.5}/PM_{10}$ para el aire ambiente de la ciudad. Este valor fue identificado en la caracterización de material particulado que se realizó en Bogotá como parte de la fase anterior del proyecto (SUR, 2008). La fracción $PM_{2.5}/PM_{10}$ depende entre otros factores, de las características de las fuentes de emisión y de las condiciones meteorológicas, y por lo tanto podría variar espacialmente en la ciudad y a lo largo del periodo de análisis del plan de descontaminación.

En la literatura internacional, generalmente se reportan valores para esta fracción en el rango entre 0.5 y 0.7.

Métrica de la exposición: Los efectos en la salud de la población se evalúan con respecto a cambios en la concentración anual de material particulado. Para la evaluación de los efectos por exposición aguda, se supone que cambios en los niveles de concentración diaria se ven reflejados en el valor de la concentración anual. Si bien esto es matemáticamente correcto, la suposición utilizada impide observar el efecto de los picos de concentración los cuales tienen una fuerte influencia en la aparición de efectos por exposición aguda.

Tiempo de respuesta de los efectos sobre la salud de la población: Los efectos en la salud derivados de cambios en la calidad del aire se pueden clasificar en dos grupos según el tiempo en que tardarían en presentarse respecto al momento en que se dan los cambios en los niveles de contaminación: 1) Efectos asociados con exposición aguda, éstos hacen referencia a los efectos en salud por cambios diarios en los niveles de exposición. Se supone que los efectos en la salud se presentan de manera inmediata con el cambio en la concentración de material particulado; 2) Efectos por exposición crónica, hacen referencia a los efectos en salud por cambios prolongados en la exposición al material particulado. En este trabajo se supuso que la manifestación de los efectos en la salud asociados a exposición crónica se presenta de forma gradual desde el momento en que cambian las condiciones de la calidad del aire y se completan en un periodo de 11 años. Este tiempo de respuesta es estimado y por lo tanto la expresión máxima de los efectos podría observarse en un periodo de tiempo diferente.

Uso de proporciones locales para evaluar efectos en salud: La estimación del número de casos para efectos en morbilidad atendida para los cuales no se cuenta con RR específicos para la población de América Latina, se realizó mediante el uso de proporciones identificadas en los registros de información local de salud. Estas proporciones no necesariamente son las mismas para la fracción de estos efectos atribuida a la contaminación atmosférica.

Niveles de exposición personal: La literatura científica ha demostrado que los niveles de contaminantes registrados por las estaciones fijas de monitoreo no son, necesariamente, representativas de los niveles de contaminación a los que se expone la población en los diferentes microambientes que hacen parte de su rutina diaria, y que los niveles de exposición en estos últimos pueden ser, incluso, varias veces superiores. Sin embargo, los estudios epidemiológicos utilizados como base para este estudio definen la exposición de la población con base en los registros de las redes de monitoreo de las ciudades. De manera consistente con dichos estudios, los niveles de exposición utilizados para la valoración de efectos en salud en este trabajo se basan en los niveles de calidad del aire registrados por la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad.

Análisis espacial de los efectos ($Pe = 1$): En la estimación de efectos sobre la salud se supuso que los beneficios en la calidad del aire derivados de la implementación del plan de descontaminación se presentan de manera uniforme para toda la ciudad y afectan en igual proporción a toda la población (esto se evidencia en el $Pe=1$). Este supuesto implica que toda la población está expuesta al mismo riesgo por la contaminación atmosférica.

Si bien es cierto que toda la población se encuentra expuesta al material particulado, la información de la red de monitoreo de calidad del aire evidencia que la concentración de material particulado no es uniforme en la ciudad. En adición a lo anterior, es posible que la aplicación de ciertas medidas de reducción de la contaminación presente impactos diferenciados en la ciudad. Acorde a lo anterior es de esperarse que la población de la ciudad experimente diferentes reducciones en los niveles de concentración de PM_{10} .

El supuesto asumido cumple una función de simplificación del cálculo del número de casos evitados. Las limitaciones en las fuentes de información (línea base de efectos y concentración de PM_{10}) impiden realizar un análisis espacial detallado durante el periodo de análisis.

Determinación de los valores de COI: Los valores usados para los costos de atención podrían ser una subestimación de los costos reales, debido a que éstos no incluyen costos indirectos como los gastos de transporte u otros adicionales que puedan generarse por la enfermedad.

El valor usado para la estimación de la pérdida de productividad es un estimativo basado en un valor promedio. Se genera incertidumbre adicional al considerar que toda la población aporta de igual manera en términos de productividad. El supuesto según el cual todos los días de incapacidad de los niños resultan en pérdida de productividad para los adultos puede ser un factor de sobreestimación adicional.

Determinación de los valores de a pagar: La disponibilidad a pagar para los efectos evaluados incluye los valores de COI más la valoración que realizan las personas por la pérdida de bienestar. Debido a que se usaron valores por transferencia de beneficios es posible que estos no necesariamente representen de manera adecuada el caso colombiano. Sin embargo para este caso constituyen la mejor aproximación disponible.

Tasa de descuento: Para la evaluación de proyectos en el tiempo se hace necesario el uso de una tasa de descuento para conocer el valor presente neto de los beneficios. Sin embargo, no existe consenso sobre que tasa de descuento usar para proyectos ambientales, por esta razón se realizó la evaluación de cuatro escenarios con valores de diferentes autores.

5.5 Indicador de seguimiento del plan

Se estableció un indicador para el PDDAB donde se utilizó el principio de componentes principales (PCA), con el fin de realizar los cálculos y el seguimiento correspondiente al plan; este indicador da mayor relevancia a las estaciones que presentan mayores varianzas de concentración y, para el caso de Bogotá, deja por fuera del análisis a estaciones con menores varianzas y concentraciones como Guaymaral y Parque Simón Bolívar.

El PCA consiste en la construcción de un conjunto nuevo de variables compuestas que son una combinación lineal de las variables originales, llamada componentes principales. Este tipo de análisis estadístico permite modelar la correlación existente entre las variables de un proceso y determinar variables que tienen una mayor incidencia en la variabilidad de los datos y así poder retener esta información.

El PCA corresponde a un método de análisis de datos no paramétrico que permite identificar patrones definidos por la correlación que encuentra entre los datos objeto de los análisis. La identificación de dichos patrones está acompañada de una reducción del espacio original de variables a un espacio más pequeño manteniendo en gran parte la variabilidad original de los datos (reducción de complejidad).

El algoritmo para realizar PCA incluye los siguientes pasos:

1. Organizar el conjunto de datos en una matriz de $m \times n$, donde m es el número de ensayos en cada sensor (señal) y n es el número de sensores.

2. Restar la media de la señal en cada uno de los sensores con el fin de tener una matriz de datos con media cero.
3. Calcular la matriz de covarianzas y con esto los eigenvectores de covarianza. Para esto es posible usar el método de *Singular Value Decomposition (SVD)*.

Es del caso mencionar 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 de los datos reportados por todas las estaciones de la RMCAB, esto teniendo en cuenta que metodologías distintas llevan a resultados distintos; en este sentido el indicador utilizado al momento de generar los escenarios de modelación, que hicieron parte de la formulación del plan de descontaminación, es diferente al indicador que se ha utilizado históricamente para producir los reportes de calidad del aire para la ciudad ya que en éste último se tienen en cuenta todas las estaciones de la red.

5.6 Participación comunitaria



Fotografía 5. Escenario de participación con la comunidad en las localidades

La elaboración del Plan Decenal incluyó procesos participativos con la ciudadanía, atendiendo a que son interlocutores legítimos para su formulación. Debe mencionarse que su participación permite la generación de un balance sobre tres factores que presionan la política pública: la presión de los movimientos populares para tener una mayor participación, la necesidad de cambiar las relaciones entre el gobierno y la sociedad, y la reducción de las externalidades negativas de la toma centralizada de decisiones. (Proenca, 2007)

En total participaron 1,047 personas de 19 localidades de Bogotá, un grupo seleccionado de representantes de autoridades ambientales del nivel local y nacional, y representantes de gremios involucrados con la calidad del aire en la ciudad.

La metodología de participación comunitaria desarrolló talleres y mesas de trabajo usando elementos combinados de tres metodologías: Tecnología de Espacio Abierto (*Open Space Technology*), "World Cafe", y *Diálogo Estructurado*. La primera invita a la comunidad a participar en las mesas temáticas con las cuales más cómodo se sienta y/o mayor aporte pueda el participante proveer; la segunda metodología World Cafe permite la construcción de resultados a partir de conversaciones libres entre grupos, generando fertilización cruzada entre ideas y ayudando a descubrir nuevos puntos de vista; y la metodología de *Diálogo Estructurado* que permitió la generación de conversaciones constructivas, comprometidas y colectivas a través de la aplicación de ocho principios en cada mesa de trabajo: escuchar, valorar, dialogar, incluir, actuar voluntariamente, dar oportunidades equitativas, respetar y ser flexibles.



Fotografía 6. Desarrollo de las mesas temáticas

El proceso participativo con la comunidad involucró el desarrollo de 16 talleres, en los que se trabajó en cinco mesas temáticas, que tuvieron lugar en distintas sedes de organizaciones públicas, comunitarias o privadas en cada localidad.

En cada encuentro pudieron recogerse las percepciones de las comunidades sobre los problemas más importantes y sobre las formas para solucionarlos en materia de calidad del aire; normas y conocimiento de las mismas; gestión ambiental y autoridades ambientales; cultura ciudadana, educación y conciencia ambiental; el aire y la salud; y el aire y las emisiones. En la tabla 16 se presenta un resumen de los aspectos puntuales que fueron tratados en cada mesa temática.

Tabla 16. Categorías temáticas desarrolladas en cada mesa de trabajo de los talleres de participación comunitaria

Mesa 1: Normas y conocimiento de las mismas	Mesa 2: Gestión ambiental y autoridades ambientales	Mesa 3: Cultura ciudadana, educación y conciencia ambiental	Mesa 4: El aire y la salud	Mesa 5: El aire y las emisiones
Diseño de la norma (proceso)	Relación entre la ciudadanía y las autoridades	Capacidad y competencia de las instituciones educativas	Sistema respiratorio, nervioso, auditivo, tracto digestivo, problemas dérmicos	Contaminación por transporte
Pertinencia de los contenidos (aplicabilidad local y sectorial, y relación clara con la problemática)	Capacidad y competencia de las autoridades	Actitud de la ciudadanía/ comunidad/JAC	Atención en salud	Contaminación por industrias
Implementación e interpretación de la norma	Coordinación entre las autoridades y los mecanismos de prevención y Control	Actitud de la familia/ hogares	Calidad de vida	Malos olores / fuentes hídricas
Divulgación y apropiación por parte de la ciudadanía			Otros temas en salud	Material particulado
			Afectación sobre varios sistemas	Arborización

Cada uno de los temas desarrollados en las mesas de trabajo recibió una priorización así como una propuesta de solución desde la comunidad participante, estos resultados fueron importantes en el análisis y formulación de medidas/proyectos que hacen parte del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.

Además de los talleres presenciales con la comunidad, se contó con dos medios para recibir y divulgar la información que se fue construyendo con las localidades y con los expertos: medios virtuales (página en internet y una cuenta de correo electrónico para facilitar la recepción de propuestas y la resolución de dudas acerca del proceso) y medios físicos, localizados en los lugares en donde se realizaron los talleres: un buzón de sugerencias, mediante el cual se recolectaron propuestas operativas, diferentes a las propuestas de política que se estaban recogiendo en cada mesa de trabajo.

También se desarrollaron dos talleres con representantes de las autoridades ambientales y con representantes de gremios; tuvieron variantes metodológicas para responder a las particularidades de los participantes. Para la realización de dichos talleres se hizo uso de la Tecnología de Espacio Abierto (TEA), que como herramienta de construcción comunitaria potencia un estilo participativo donde el trabajo grupal autogestionado es la norma, el liderazgo compartido es una constante, y donde la diversidad y la creatividad se consideran un recurso valioso.

El resultado del taller realizado con autoridades fue la respuesta desde cada posición a la pregunta *¿Cómo contribuimos para que el Plan Decenal de Descontaminación se pueda implementar, sea efectivo y exitoso para la ciudad?*. Para dar lugar a dicha respuesta se hizo análisis de los factores críticos a) coordinación entre entidades de diferentes sectores; b) coordinación en el mismo sector pero entre diferentes niveles de gobierno (descentralización); c) alianzas público-privadas; d) participación ciudadana, e) implementación y gestión (equipos de trabajo, esquemas de gestión, tiempos y compensaciones); f) control y seguimiento; y g) temas adicionales.

Por otra parte en el taller realizado con gremios se analizaron y discutieron los siguientes temas propuestos por los mismos participantes: a) Nuevas tecnologías y combustibles no convencionales (CNC); b) Participación y educación; c) Transporte y vehículos, d) Políticas y normatividad.

Más allá de las conclusiones puntuales extraídas de los datos recolectados, los resultados de este proceso arrojan varios aprendizajes interesantes. Uno de ellos tiene que ver con las ventajas de complementariedad entre la visión técnica y la visión política de los asuntos públicos. El espíritu que animó este trabajo colegiado e interdisciplinario fue el convencimiento de que no basta una de las dos visiones para tener un panorama completo; en un problema como el de la contaminación del aire en Bogotá, que cuenta con un diagnóstico técnico sólido y con una red integrada de monitoreo permanente, sigue siendo importante escuchar a los ciudadanos que experimentan, en su vida cotidiana, los impactos de la calidad del aire en la ciudad. Darles voz a las comunidades es una apuesta por la legitimidad, a pesar del hecho de que no todas las inquietudes, requerimientos e intereses de los ciudadanos se pueden satisfacer de manera plena.



Línea base

Línea base

6.1 Inventario de emisiones

Para el establecimiento de la línea base de emisiones atmosféricas (por fuentes fijas y fuentes móviles) se consideró el inventario de emisiones actualizado al 2008.

Las fuentes industriales se categorizaron en 14 grupos según los equipos de combustión y el tipo de combustible empleado, considerándose las emisiones de PM, NO_x, COT y CO₂. Para completar la información de emisiones de las categorías industriales que no cuentan con factores de emisión propios, se utilizaron factores de emisión de la metodología AP-42 de la EPA (2008). Esta información permitió estimar las emisiones de las fuentes que operan con combustibles líquidos (fuel oil, diesel y GLP), así como las emisiones provenientes de fuentes que utilizan hornos a gas natural en procesos de fundición, incineración y cremación. De la misma manera, se utilizaron factores AP-42 para complementar la estimación de emisiones de COT y CO₂.

En relación con las fuentes móviles, además del inventario de emisiones actualizado al 2008, se consideraron, entre otros aspectos, los relacionados con la caracterización del parque automotor (edad de los vehículos, tecnologías disponibles y tipos y calidad de combustibles empleados), los flujos y las velocidades típicas del tráfico en la ciudad. La influencia de las fuentes móviles sobre el inventario de contaminantes atmosféricos es muy importante pues sus emisiones aportan más del 80% del inventario total de CO, CO₂ y NO_x.

Las categorías de mayor aporte al inventario de PM son los buses de transporte público colectivo (39%), la flota de vehículos de carga (33%) y las motocicletas (21%). Por su parte, las categorías de mayor aporte a las emisiones de NO_x son los vehículos particulares (34%) seguido por buses de transporte público colectivo y los taxis, las cuales aportan cada una alrededor del 22% de las emisiones de este contaminante. En cuanto a las emisiones de TOC y CO, los vehículos particulares aportan más del 60% de las emisiones generadas por las fuentes móviles.

El inventario de emisiones para el año base (2008) se presenta en la Tabla 17. 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 17. 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

Contaminante	Emisión (Ton/año)		
	Fuentes móviles	Fuentes fijas	Total
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 17 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.

6.2 Calidad del aire

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). 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).

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 7) compara los datos disponibles de la RMCAB con la norma nacional de calidad del aire y cuantifica el nivel de incumplimiento de la misma.

$$IPE = \sum_i \left[\frac{N_E}{N_D} \right] \cdot 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde N_E es el número de veces en que los datos de calidad del aire (vg, promedios horarios, promedios diarios) exceden la norma usada como referencia (vg, 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 51 se presenta el IPE para todo Bogotá para los principales contaminantes criterio, estimado a partir de los datos de la RMCAB desde el 1997 hasta el 2008. Estos resultados demuestran que el principal problema de contaminación que enfrenta la ciudad tiene que ver con el material

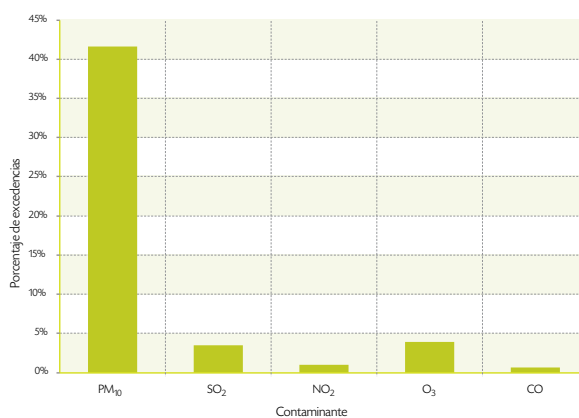


Figura 51. Índice de porcentaje de excedencia de la norma de calidad del aire para PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ y CO, análisis multianual 1997-2008 para todo Bogotá.

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.

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 RM CAB suelen ser inferiores a los límites establecidos por la normativa nacional.

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 entre 1997 y 2008 (ver Figura 52), sugiere una tendencia relativamente estable en el valor del porcentaje de excedencia.

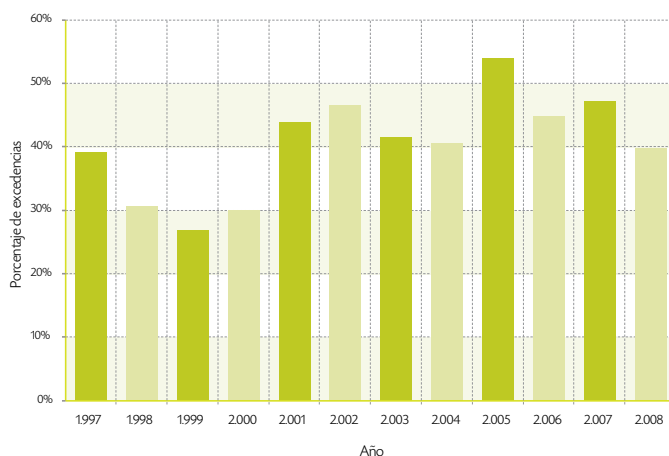


Figura 52. Índice de porcentaje de excedencia de la norma de calidad del aire para PM₁₀ con respecto a norma anual.

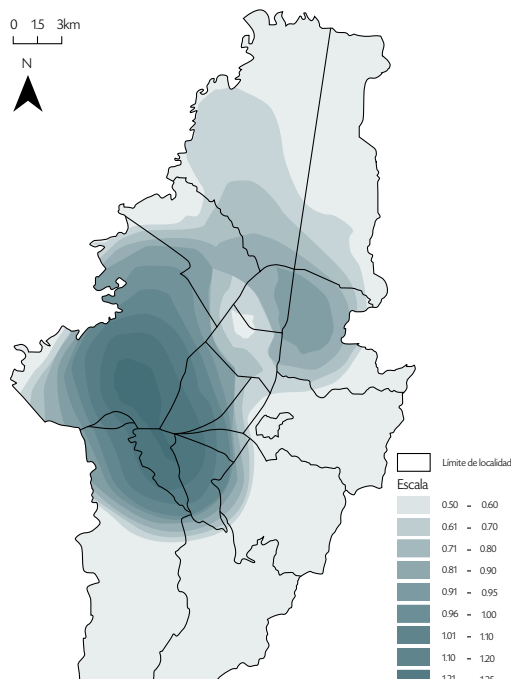


Figura 53. Mapa de iso-concentraciones de PM₁₀ en Bogotá para el año 2008.

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).

En la figura 53 se presenta la distribución geográfica del nivel de incumplimiento de la norma nacional de calidad del aire para PM_{10} en el 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.

Desde el 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 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.



Proyección de emisiones

La construcción del escenario tendencial permite evaluar a qué punto llegarían las emisiones en la ciudad de Bogotá dentro de diez años en caso de no implementarse proyectos o medidas de descontaminación, no obstante contempla la realización de las acciones de seguimiento y control de la Autoridad Ambiental, descritas en el capítulo 4. La creación de este escenario contempla las siguientes variables: Crecimiento económico, crecimiento de la población, variaciones en la demanda de transporte para cada uno de los diferentes modos y crecimiento de la tasa de motorización, tal como se menciona en el capítulo 5 correspondiente a la metodología.

En lo referente a fuentes móviles, para el 2020, las categorías de mayor aporte al inventario de emisiones siguen siendo los buses de la flota de transporte público colectivo, las motocicletas y los vehículos de transporte de carga, siendo el aporte de los camiones y las motos superior al de TPC, categoría que en el año base era la de mayor aporte a las emisiones de este contaminante. Al final del horizonte de análisis la categoría de mayor aporte en las emisiones de CO y COT sigue siendo la de vehículos privados. El PM es el contaminante de mayor crecimiento, observándose para el 2020 un incremento cercano al 80%. Por su parte para NO_x se proyecta un crecimiento en las emisiones anuales de más del 30%. Finalmente, según la proyección de las emisiones anuales para CO y COT se presentarán incrementos cercanos al 10%. (Ver figura 54)

Según la proyección de las emisiones para el escenario tendencial, las emisiones del sector industrial en el 2020 serían alrededor de 1.6 veces mayores que las emisiones en el año base. (Ver figura 55)

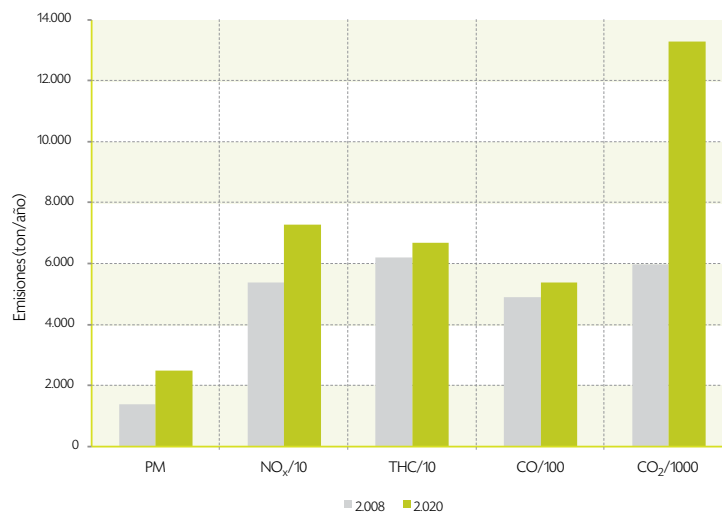


Figura 54. Proyección de las emisiones de fuentes móviles para el horizonte 2008-2020.

Nota: Los valores para NO_x y THC deben ser multiplicados por 10, los de CO por 100, los de CO₂ por 1000 para obtener el valor de emisiones en toneladas por año.

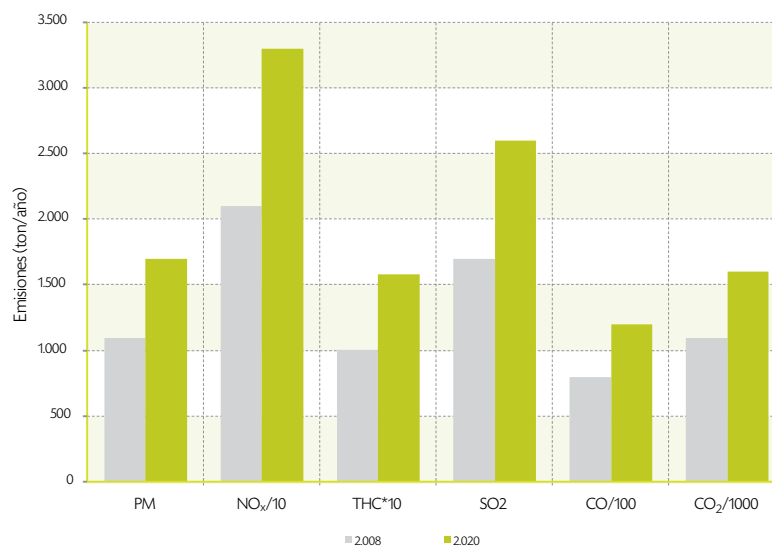



Figura 55. Proyección de las emisiones de fuentes fijas para el horizonte 2008-2020.

Nota: Los valores para THC deben ser divididos por 10, y los de CO₂ por 1000 para obtener el valor de emisiones en toneladas por año.

La proyección del crecimiento de las emisiones anuales totales de PM indica que de continuar con la tendencia en el 2020 éstas habrán crecido alrededor del 70% respecto al 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.



Estructuración de medidas para el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (PDDAB)

Estructuración de medidas para el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (PDDAB)

8.1 Objetivos y metas

El principal objetivo del PDDAB 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 entidad nacional. Dado el contexto local, en el cumplimiento de esta meta se hace especial énfasis en material particulado y ozono.

Se debe resaltar, nuevamente, que el éxito en la implementación del PDDAB, 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.

Para cumplir la meta de calidad del aire en referencia es necesario tener como emisión anual en el 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.

8.2 Medidas/proyectos del Plan de Descontaminación

El PDDAB comprende 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 con anterioridad.

Los proyectos para 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 PDDAB. Dichas medidas corresponden a una estrategia integral e interinstitucional al interior del distrito que será liderada por la 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 transporte 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 aún 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 PDDAB 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 PDDAB 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.

En las páginas siguientes se presentan los proyectos y medidas que conforman el PDDAB; se incluyen la totalidad de las medidas (y sus variaciones) que hicieron parte del proceso de optimización.

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

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.

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 Sistema Integrado de Transporte Público - SITP con mejoras ambientales y uso de sistemas de control de emisiones en los vehículos de transporte público.

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 implican no sólo el proyecto y su modo de implementación sino también los tiempos de inicio y finalización de las medidas.

8.2.1 *Sector industrial*

8.2.1.1 *Conversión del 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.

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)⁴⁹.

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.
- 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.

⁴⁹ 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.

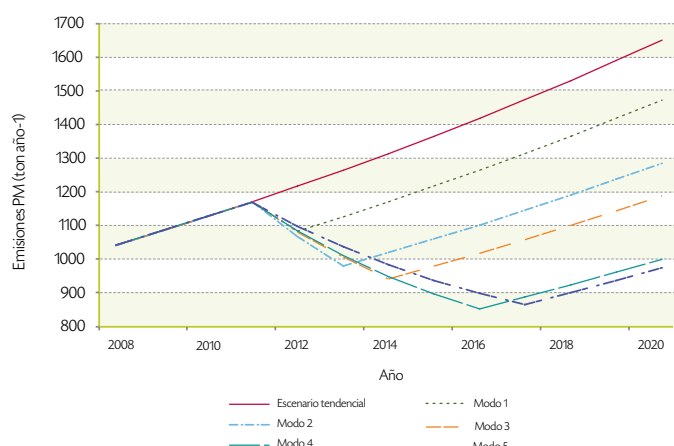


Figura FF1.A. Emisiones de PM del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

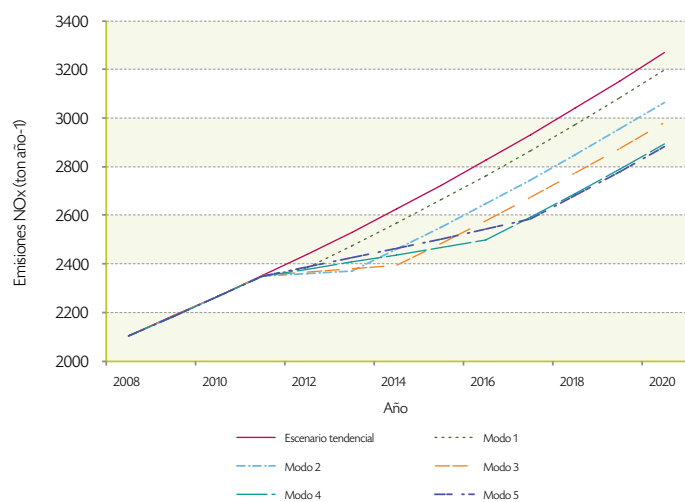


Figura FF1.B. Emisiones de NO_x del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

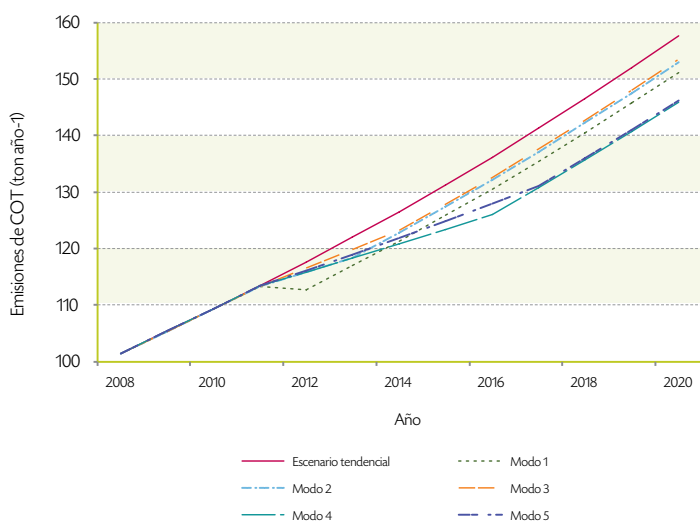


Figura FF1.C. Emisiones de COT del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

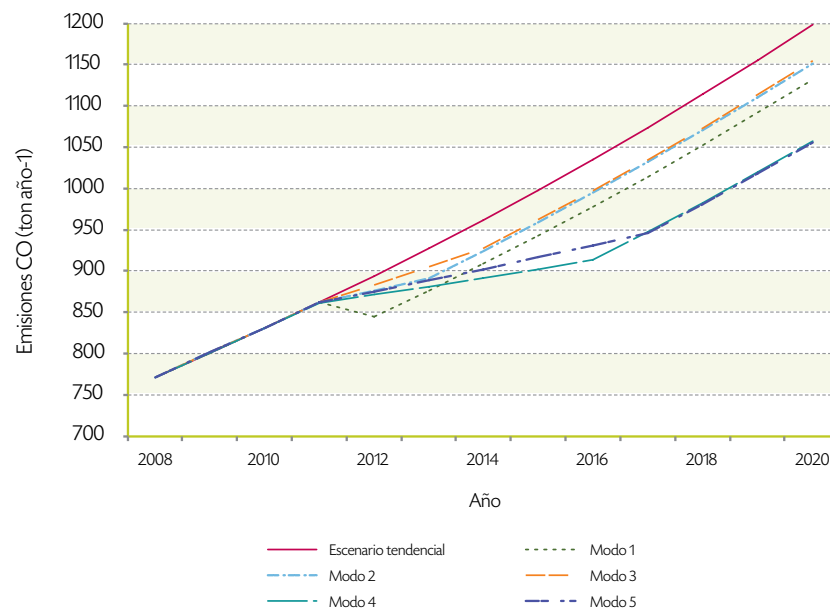


Figura FF1.D. Emisiones de CO de las categorías HC, HL, CC1 y CC2 en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

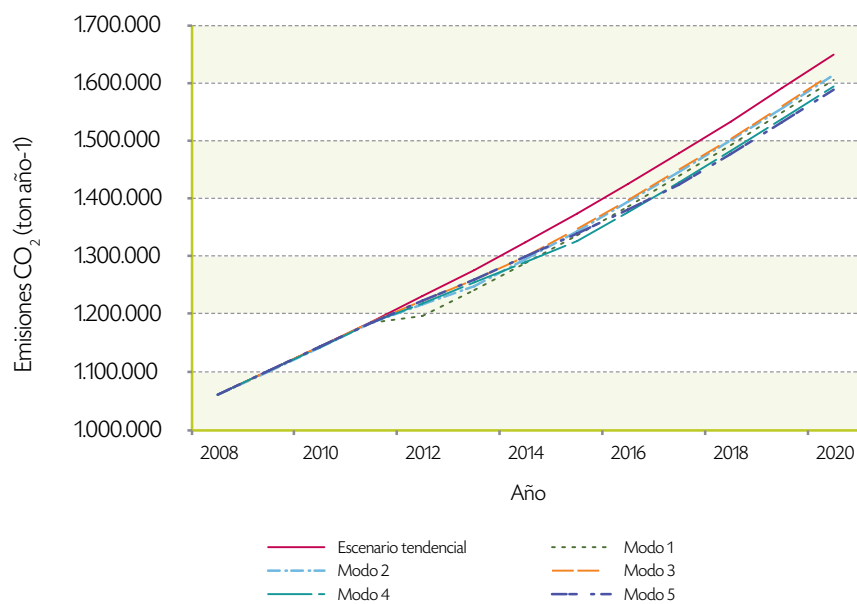


Figura FF1.E. Emisiones de CO₂ del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

- 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 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 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	NA	NA
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 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.

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. 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 de 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 (vg, 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) ^{50,51}
Modo 1	7
Modo 2	9
Modo 3	11
Modo 4	13
Modo 5	16

- l. **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 Distrital de Ambiente	Liderar el proceso de implementación de la medida. Liderar el proceso de concertación entre actores.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	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	Realizar actividades de control y seguimiento a la medida.
Secretaría Distrital de Salud	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.
SENA	Liderar el proceso de capacitación de operarios.

50 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.

51 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).

Entidad	Roles
Ministerio de Minas y Energía	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	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.

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., Naturgas, Promigas)	Proporcionar información al sector acerca de las garantías en el suministro y 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 en relación con 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.
Cámara de Comercio de Bogotá	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.

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 y Consumo Sostenible: La medida aquí propuesta es consistente con los objetivos de la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible. Hacen parte de los objetivos de esta política: 1) Crear una cultura de producción y consumo sostenible entre instituciones públicas, empresas y consumidores 2) Generar una masa crítica de empresas que posicionen las buenas prácticas, así como los bienes y servicios sostenibles, en el mercado nacional e internacional.
- 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 convenios 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 de 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 posibilidades de importación del mismo. Esta medida requiere una 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. 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. 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.

- Se propenderá por la creación los incentivos financieros necesarios para impulsar la medida. Por ejemplo, reducción de impuestos, que el Distrito busque herramientas para financiación de 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:

- 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.
- Hacer más exigentes las sanciones para las industrias que no cumplen con los límites de emisión.
- Crear otros incentivos que apoyen la implementación de la medida. Por ejemplo, diferentes plazos para la presentación de estudios isocinéticos.

Aspectos educativos y de divulgación:

- 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 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.

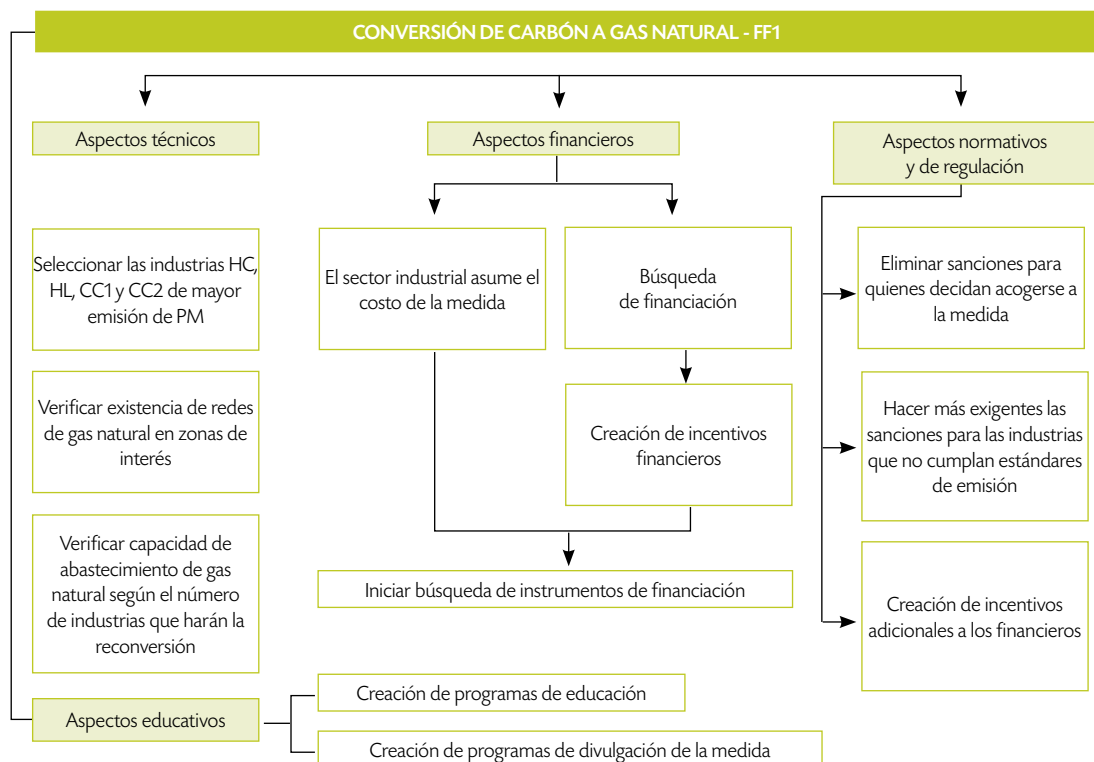


Figura FF1.F. Opciones de implementación de la medida.

8.2.1.2 Conversión del 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.



Fotografía 7. Actividad de fundición informal

- 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 un 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% de las fuentes que actualmente utilizan carbón.
- g. Impacto en el inventario de emisiones:** En las figuras FF2.A 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.

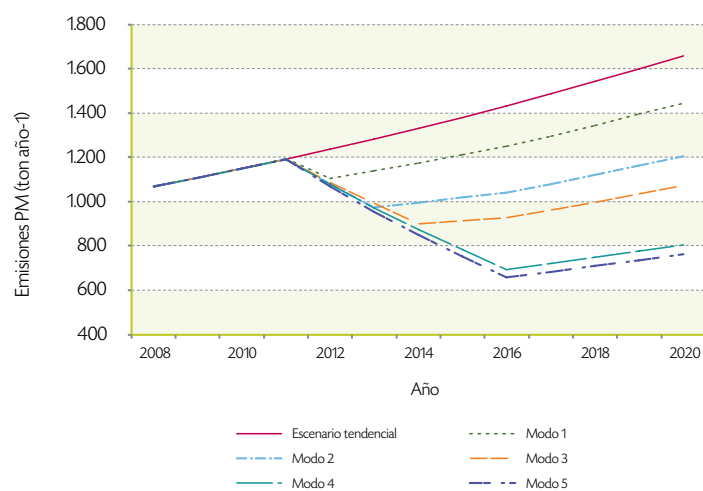


Figura FF2.A. Emisiones de PM del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

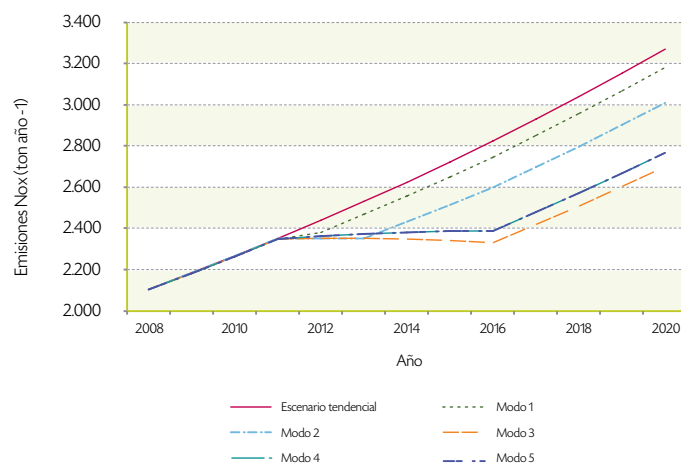


Figura FF2.B. Emisiones de NO_x del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

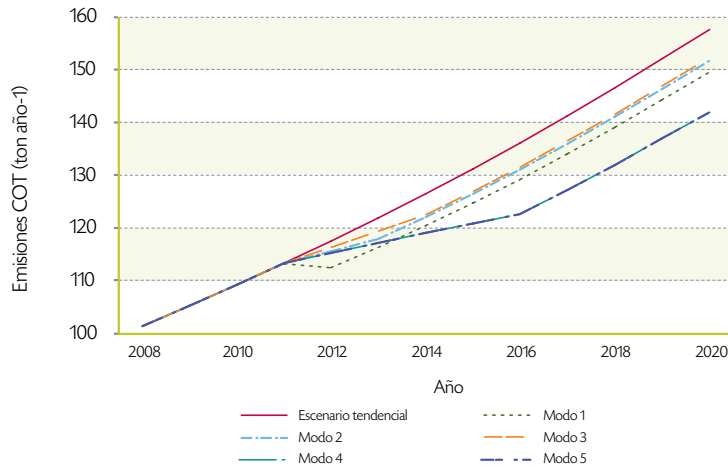


Figura FF2.C. Emisiones de COT del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

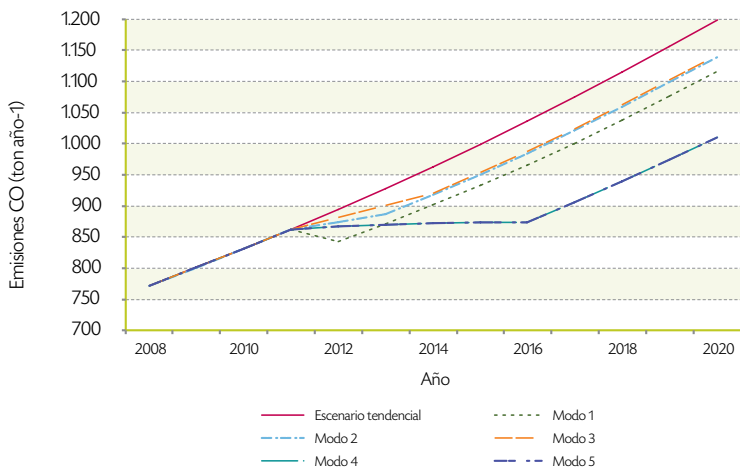


Figura FF2.D. Emisiones de CO del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

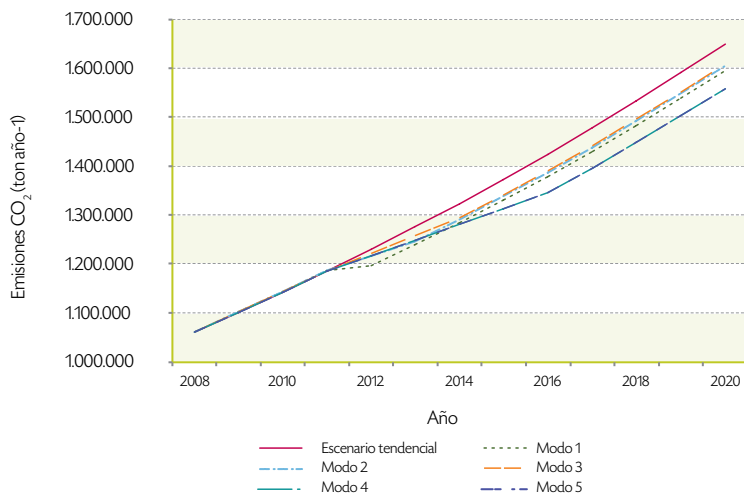


Figura FF2.E. Emisiones de CO₂ del sector industrial en el escenario tendencial y en los diferentes modos de implementación de la medida.

- 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 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	NA	NA
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 de las fuentes y a 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.

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 que 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 la 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.

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 Mayor de Bogotá. 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 aProgresar 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 citados 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 Comer-

cio, 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 la de 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.

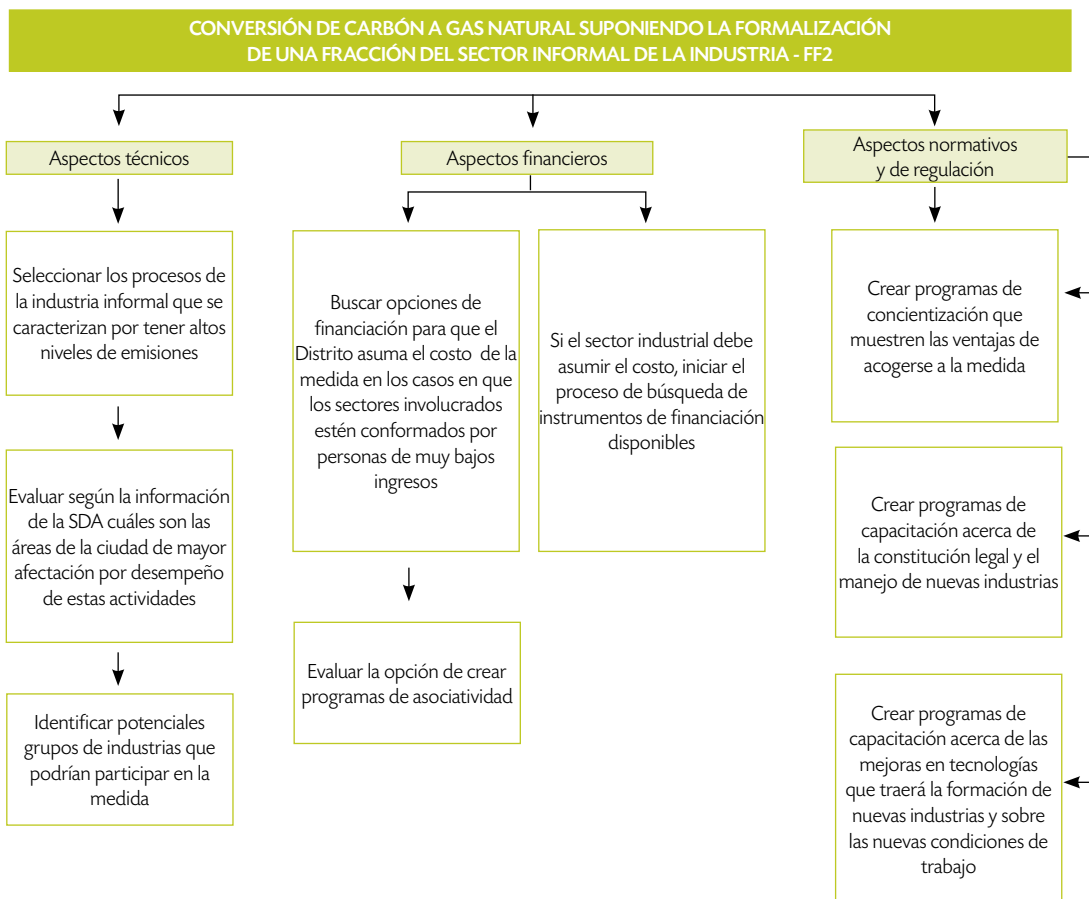


Figura FF2.F. Opciones de implementación de la medida.

8.2.13 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.

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 FF3.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							Total
	CC1	CC2	CG1	CG2	CG3	HL	HC	
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.
- 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 tiene 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 2012.

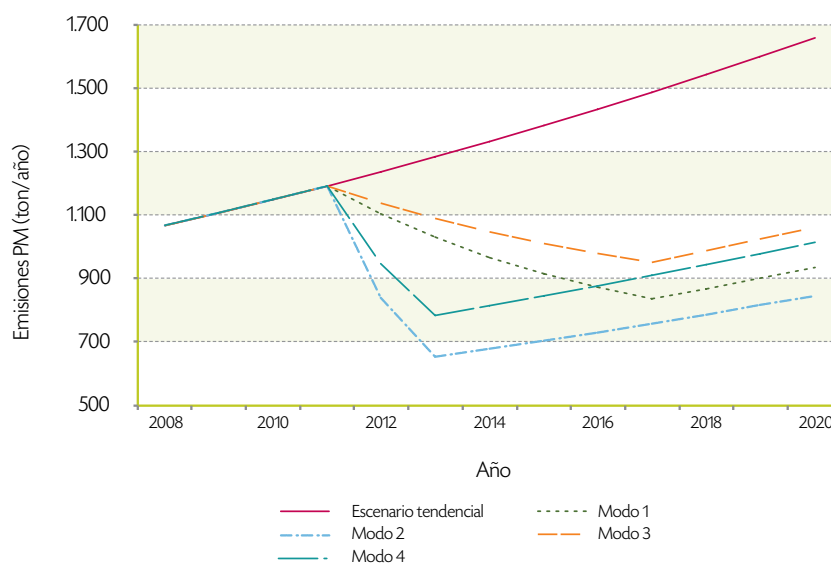


Figura FF3.A. Emisiones del sector industrial con la aplicación de la medida y en el escenario tendencial.

- 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 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.

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 de implementación	Costo total (millones de pesos)
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.
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.

Entidad	Roles
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.
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.

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 se relaciona con el primer objetivo de la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible que consiste en generar una masa crítica de empresas que posicionen las buenas prácticas, así como los bienes y servicios sostenibles, en el mercado nacional e internacional.
- 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. 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.

- 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.

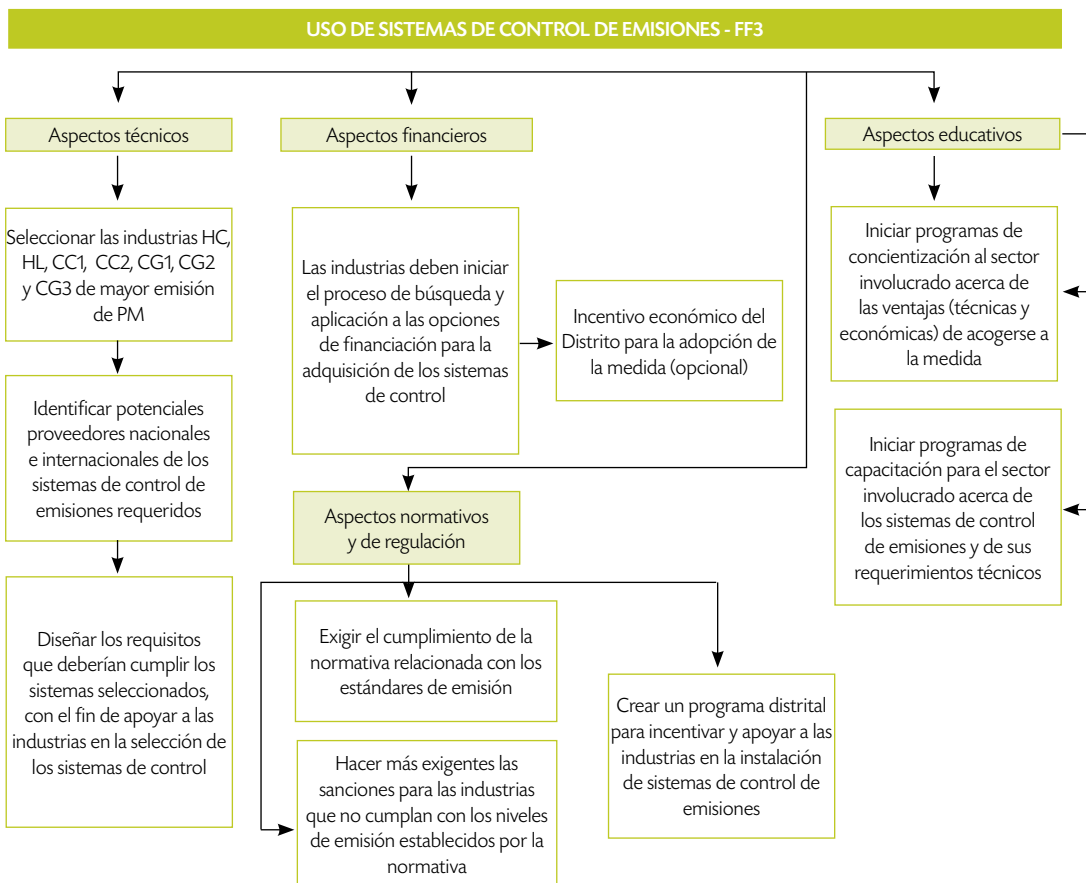


Figura FF3.B. Opciones de implementación de la medida.

8.2.1.4 Uso de sistemas de control de emisiones en las 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.



Fotografía 8. Panorámica industria ladrillera

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:

- Modo 1: 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 de 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.

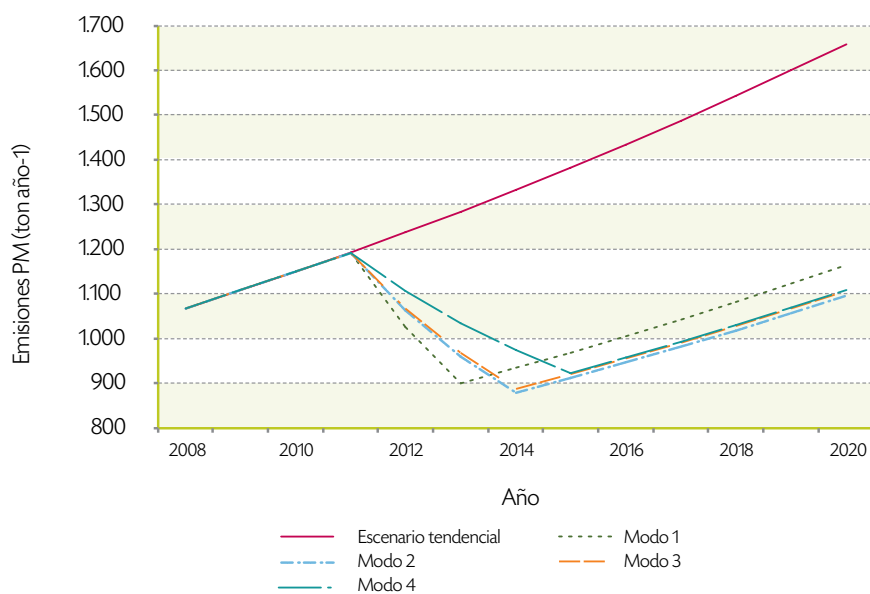


Figura FF4.A. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de PM del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.

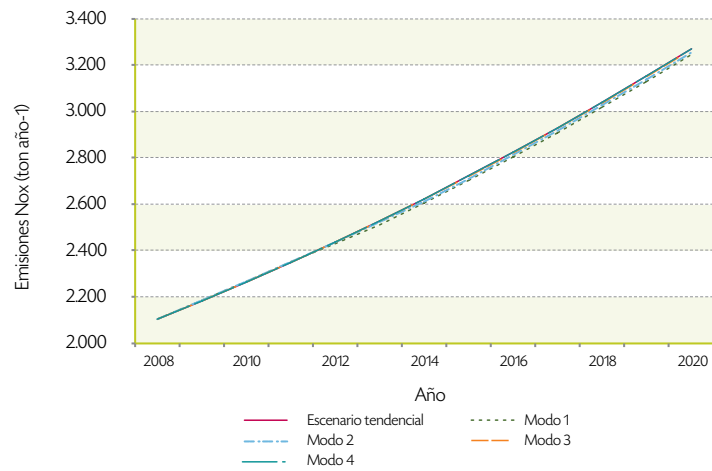


Figura FF4.B. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de NO_x del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.

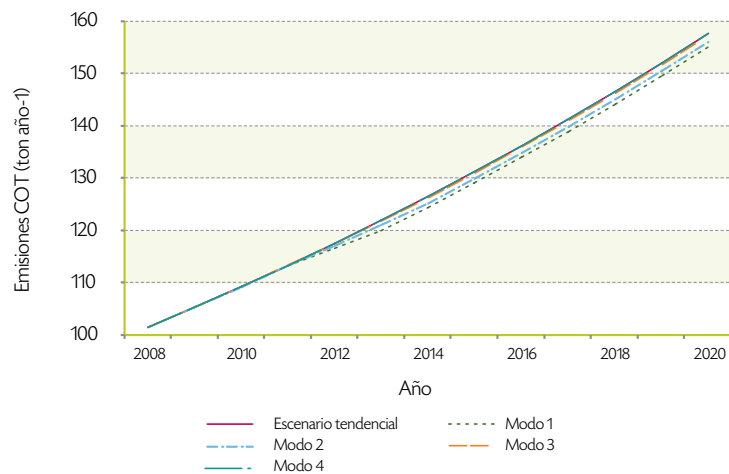


Figura FF4.C. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de COT del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.



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.

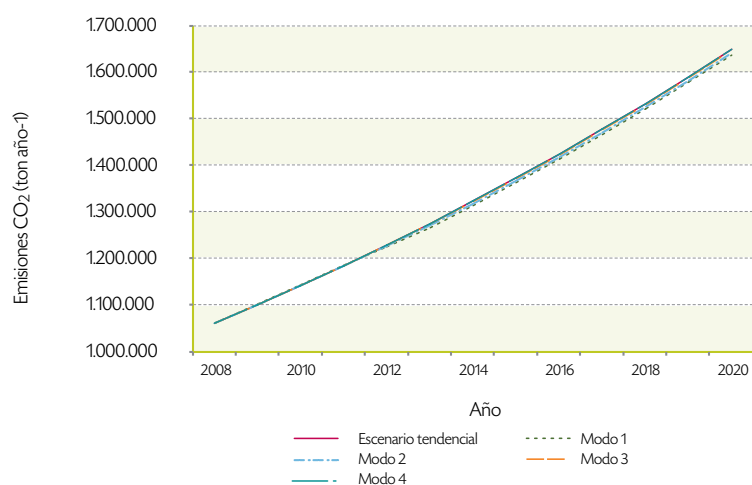


Figura FF4.E. Impacto de la medida en el inventario de emisiones de CO₂ del sector industrial en comparación con las emisiones de este mismo sector en el escenario tendencial.

- 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 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.

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.

l. **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.
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.

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.
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 el primer objetivo de la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible: 1) Generar una masa crítica de empresas que posicionen las buenas prácticas, así como los bienes y servicios sostenibles, en el mercado nacional e internacional.
- Resolución 909 de 2008, Normas y estándares de emisión para fuentes fijas.
- Establecimiento de áreas fuente de contaminación en Bogotá de acuerdo con 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. 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.
- 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 (CAF): 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 (IFI): 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.
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.

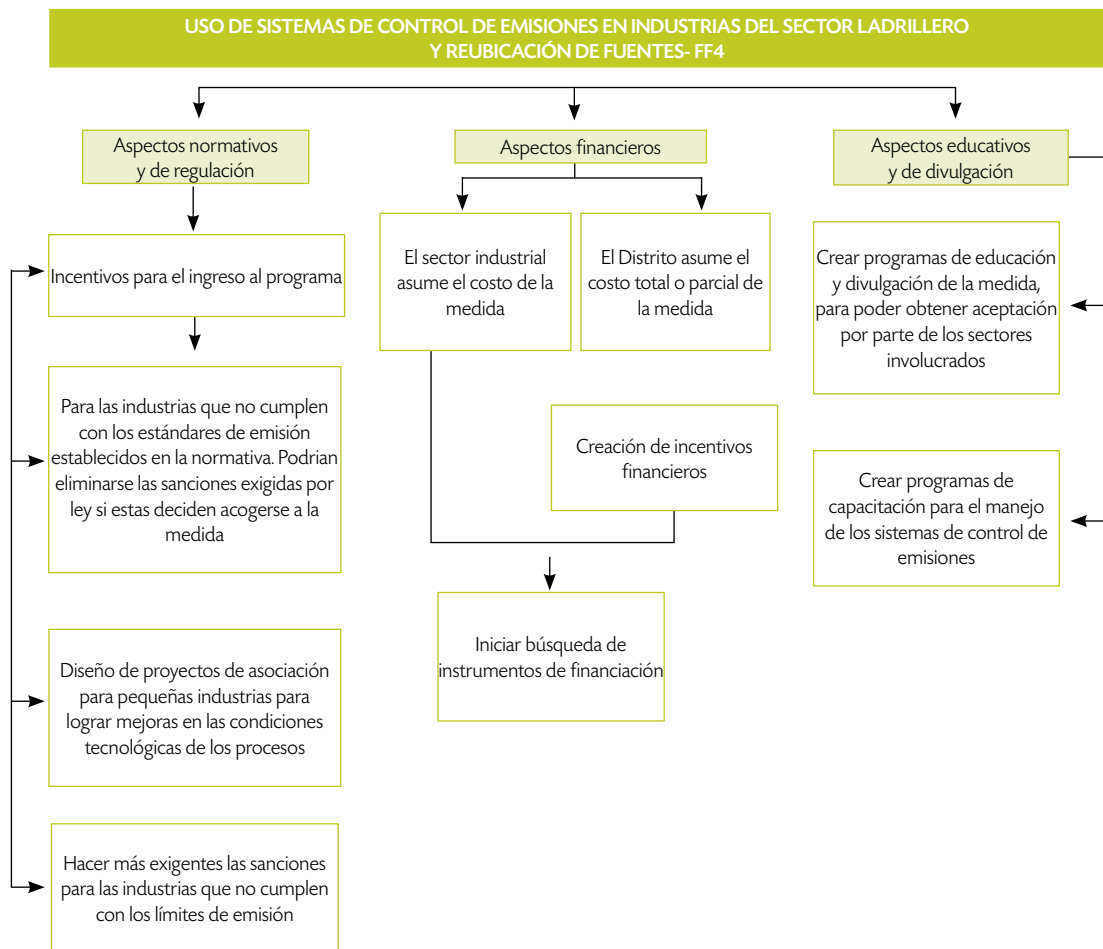


Figura FF4.F. Mecanismos de implementación de la medida.

8.2.2 Sector transporte

8.2.2.1 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. 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 PDDAB 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. 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.

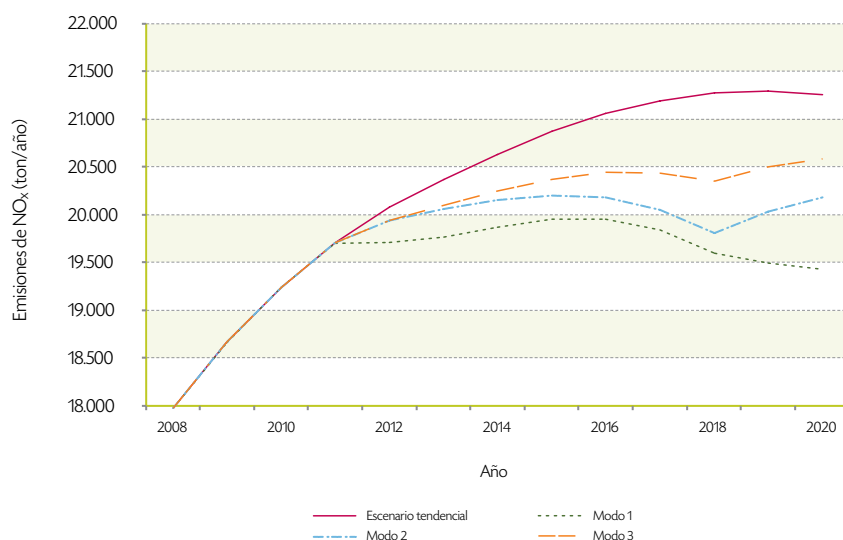


Figura FM1.A. Impacto de la medida en las emisiones de NO_x de los vehículos particulares en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.

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 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 discontinuas 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 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 2018 de manera que la tendencia recupera su crecimiento natural.

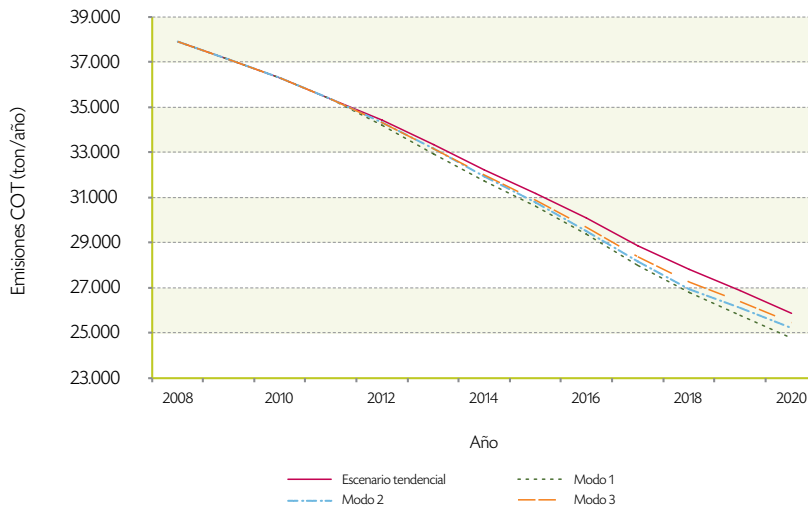


Figura FM1.B. Impacto de la medida en las emisiones de COT de los vehículos particulares en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.

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.

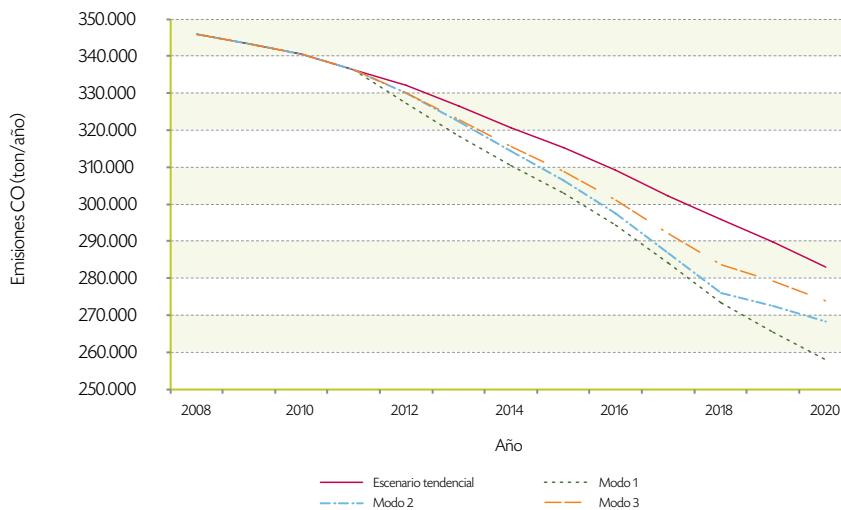


Figura FM1.C. Impacto de la medida en las emisiones de CO de los vehículos particulares en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial.

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 de su potencial de formación.

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.

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 que 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	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 de 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	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 Distrital de Movilidad	Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría Distrital 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	Apoyar el proceso de concertación entre sectores. Dar información sobre los sistemas disponibles en el mercado.
Casas matrices	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	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	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 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 los 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 presentan esquemáticamente las opciones identificadas para la implementación de esta medida.

Aspectos técnicos:

1. Seleccionar los vehículos, según el año y 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 conver-

tidores 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.

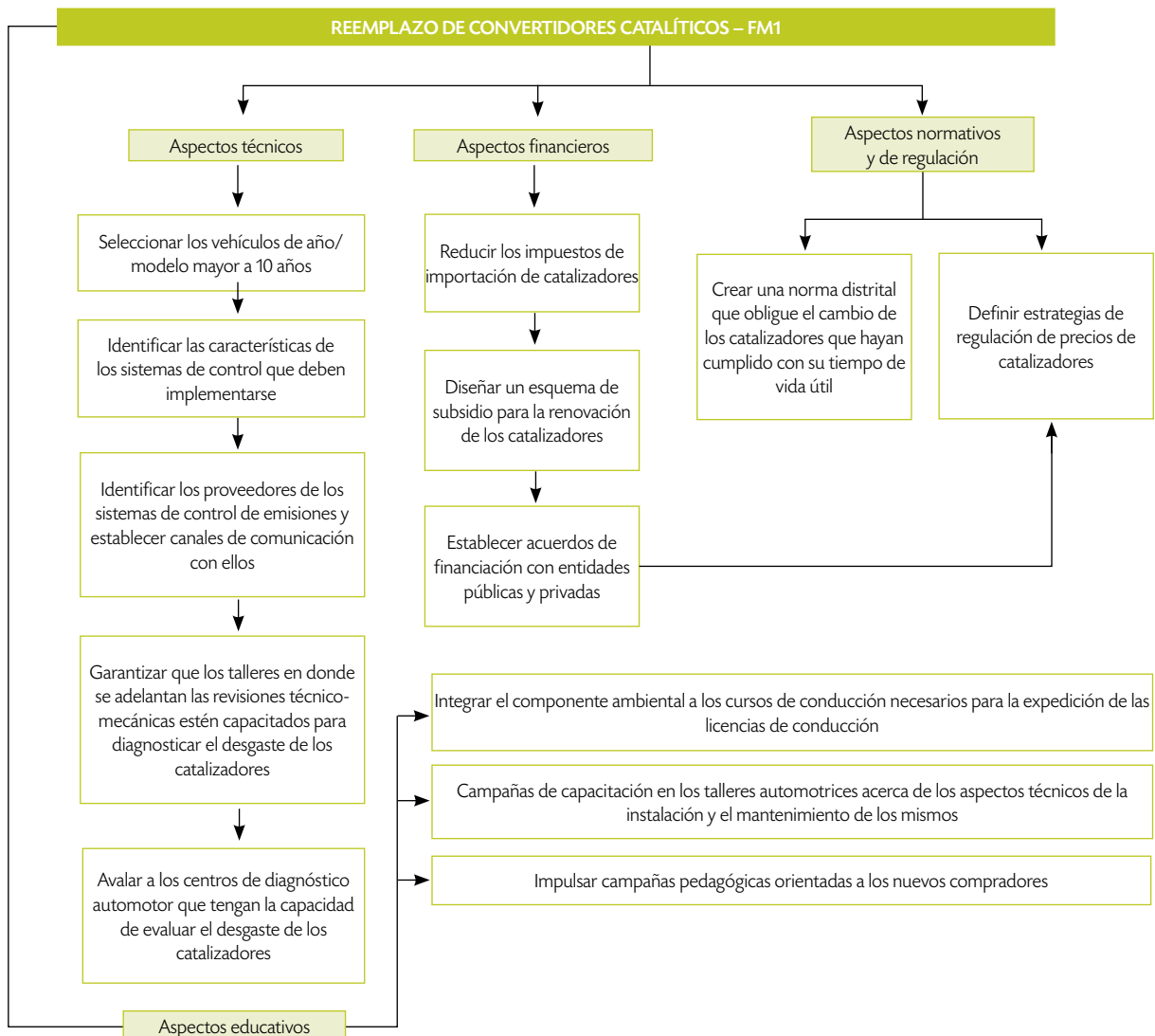


Figura FM1.D. Opciones de implementación de la medida.

8.2.2.2 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 NO_x. 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.

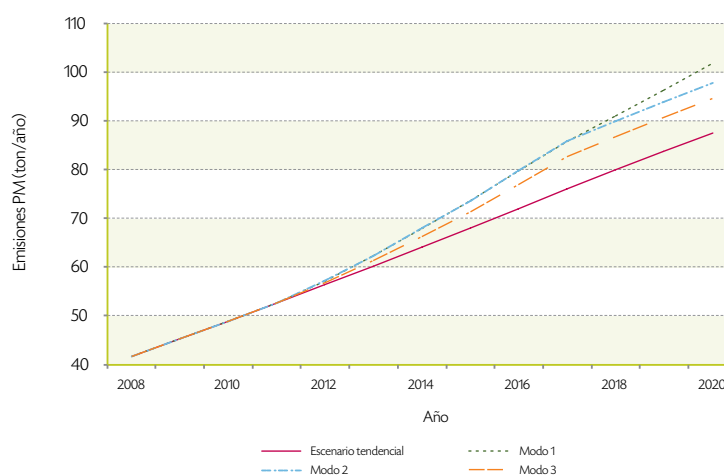


Figura FM2.A. Impacto de la medida en las emisiones de PM de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

En la figura FM2.A se presenta el comportamiento de las emisiones de material particulado entre 2008 y 2020. Debido a que los motores de gasolina presentan factores de emisión de PM relativamente bajos en comparación con los diesel, este 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 pe-

riodo 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 en 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.

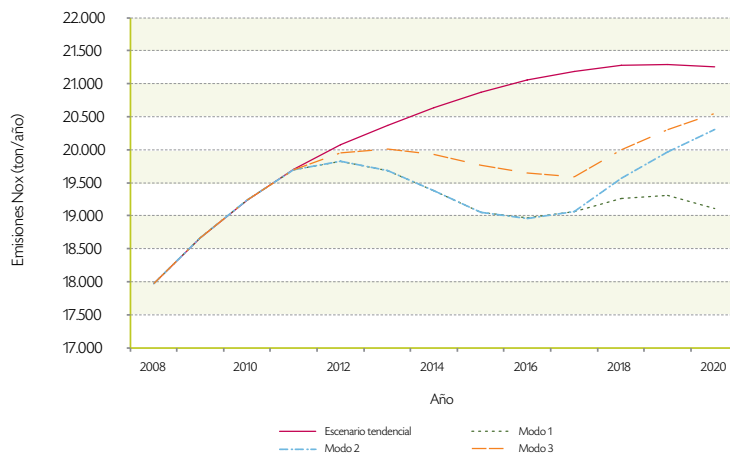


Figura FM2.B. Impacto de la medida en las emisiones de NO_x de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

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 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 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.

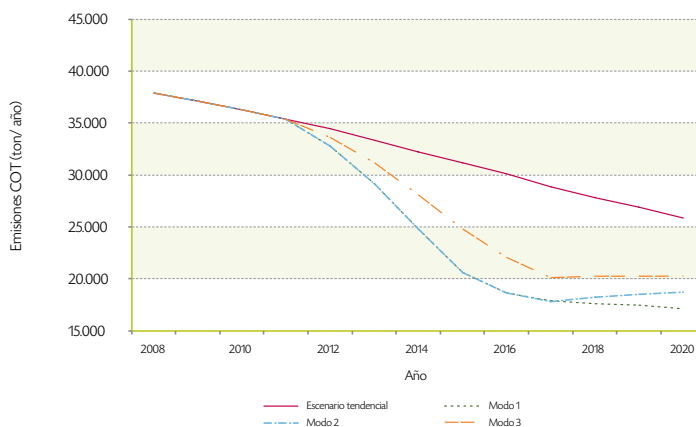


Figura FM2.C. Impacto de la medida en las emisiones de COT de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

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.

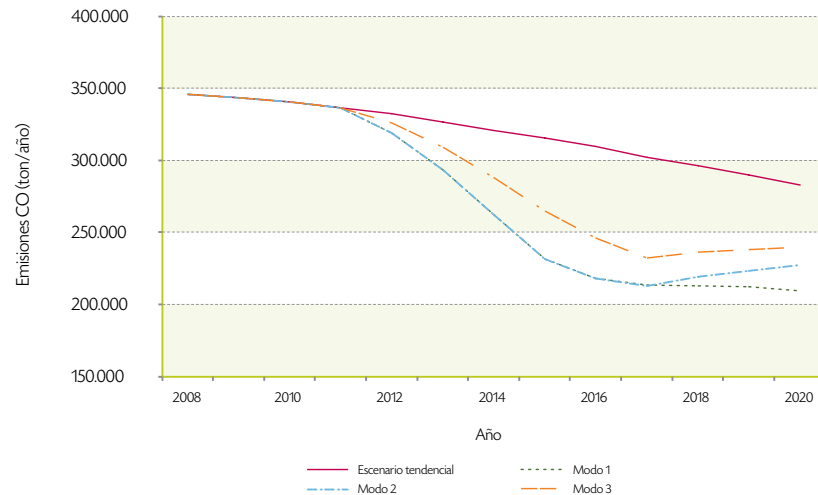


Figura FM2.D. Impacto de la medida en las emisiones de CO de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

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.

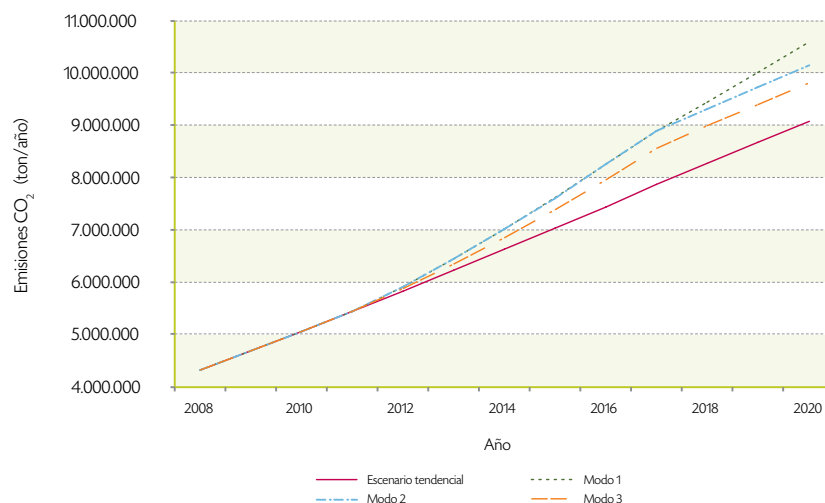


Figura FM2.E. Impacto de la medida en las emisiones de CO₂ de los vehículos particulares en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

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 creci-

miento 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.

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 que 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. Promover la creación de 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 para el manejo de los residuos generados por la chatarrización de los vehículos más antiguos.
Secretaría Distrital de Movilidad	Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría Distrital 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 lo obsoleto 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, hay entidades comerciales financieras que ofrecen créditos destinados a 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 instrumentos de financiación más convenientes para este fin.
- Asimismo, es 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 beneficiados 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 y Crédito Público 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.

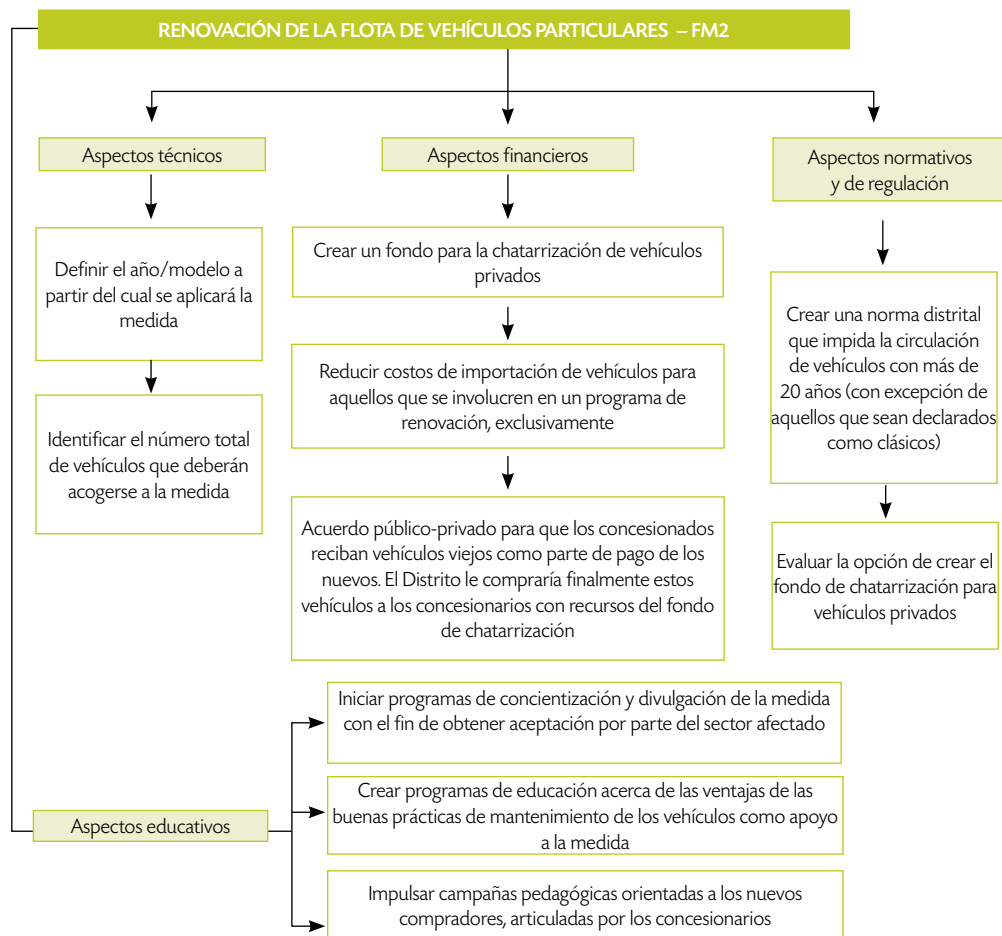


Figura FM2.F. Mecanismos de implementación de la medida.

8.2.2.3 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*	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%			

* 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 6 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.

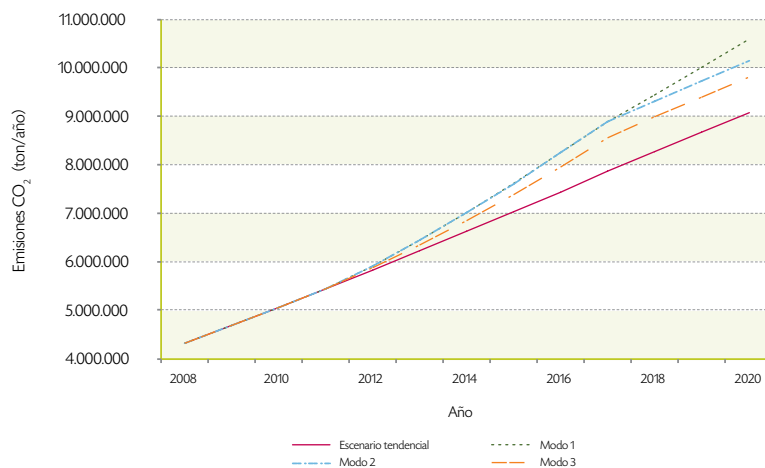


Figura FM3.A. Impacto de las medidas en las emisiones de PM de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.

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 reemplazados 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.

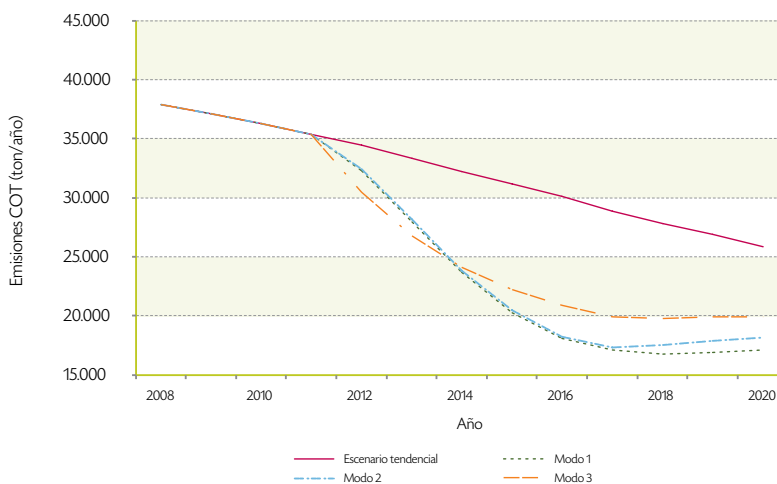


Figura FM3.C. Impacto de las medidas en las emisiones de COT de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.

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 en la figura FM3.D.

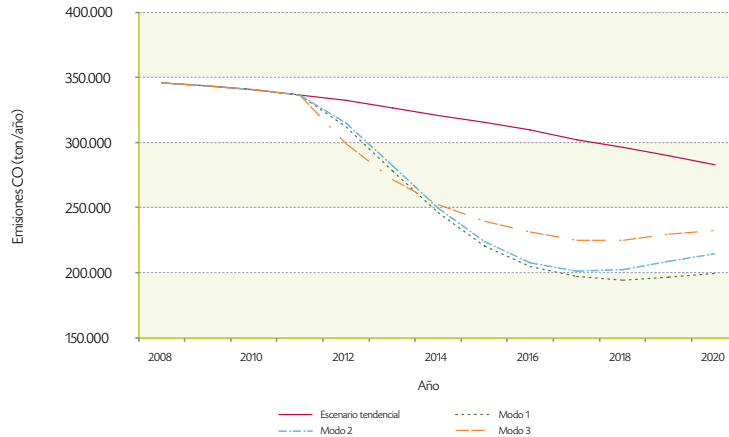


Figura FM3.D. Impacto de las medidas en las emisiones de CO de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.

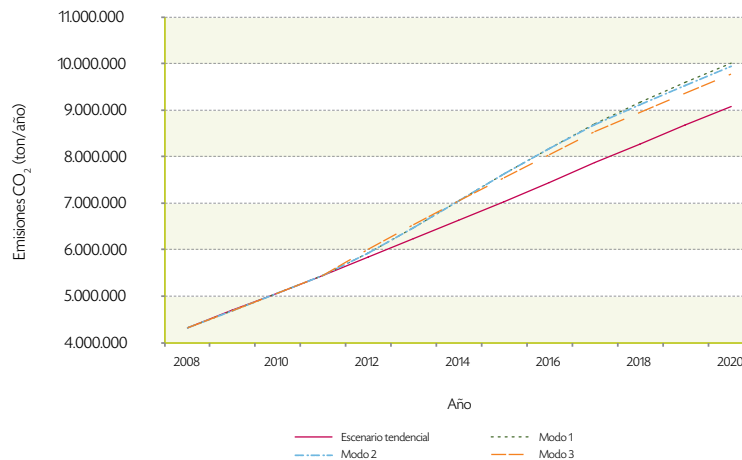


Figura FM3.E. Impacto de las medidas en las emisiones de CO2 de los vehículos particulares en comparación con la emisión de esta categoría en el escenario tendencial.

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).

8.2.2.4 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 del contaminante. 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 2009 no podrán registrarse en la ciudad motocicletas con motor de dos tiempos y su tránsito estará restringido a partir del 2011.

En el PDDAB 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 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.

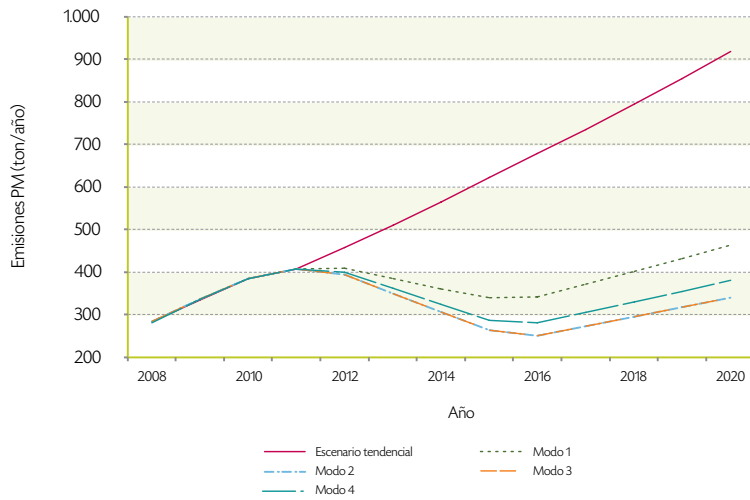


Figura FM4.A. Impacto de la medida en las emisiones de PM de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

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 esta 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.

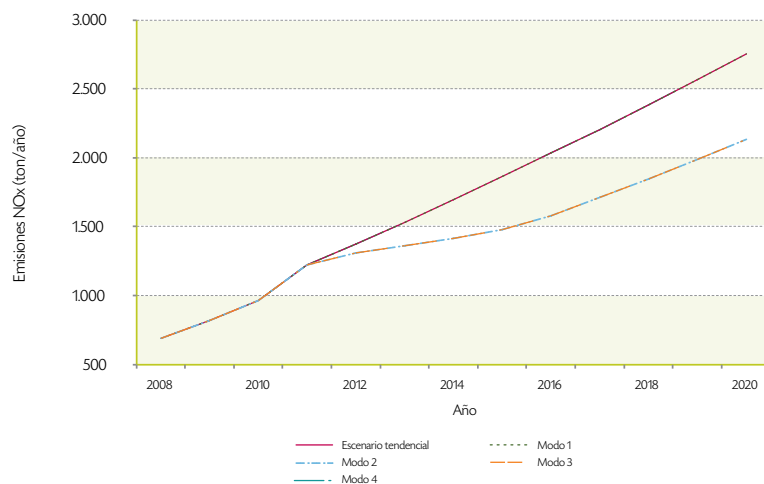


Figura FM4.B. Impacto de la medida en las emisiones de NO_x de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

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.

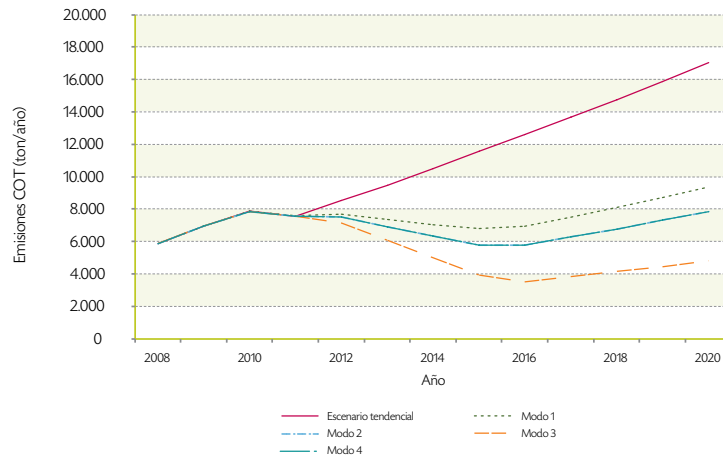


Figura FM4.C. Impacto de la medida en las emisiones de COT de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

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 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.

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.

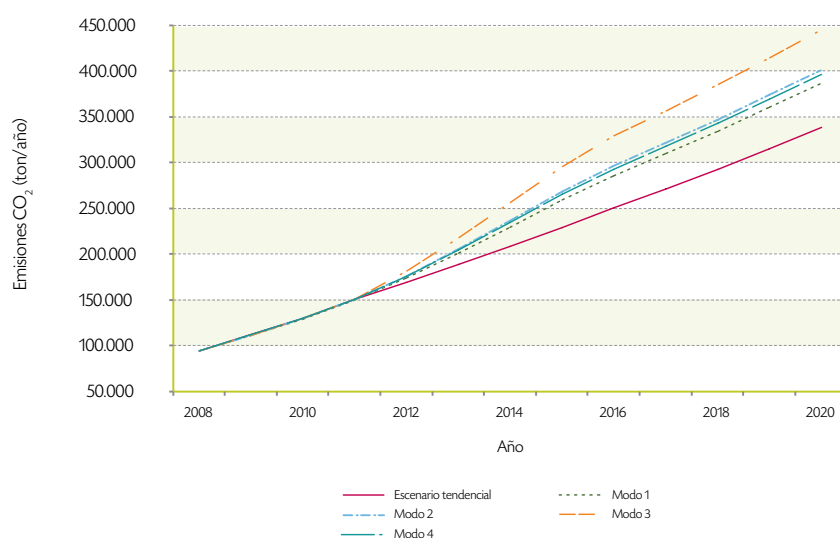


Figura FM4.E. Impacto de la medida en las emisiones de CO₂ de las motocicletas, en comparación con las emisiones de esta categoría en el escenario tendencial.

- 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 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 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 2020.

Modo de implementación	Reducción en la emisión de PM año 2020	Reducción en la concentración de PM año 2020
Escenario tendencial	NA	NA
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.

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

- l. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que 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.

Entidad	Roles
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	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	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 casas 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 Distrital de Movilidad	Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría Distrital 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	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	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	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	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 las 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.

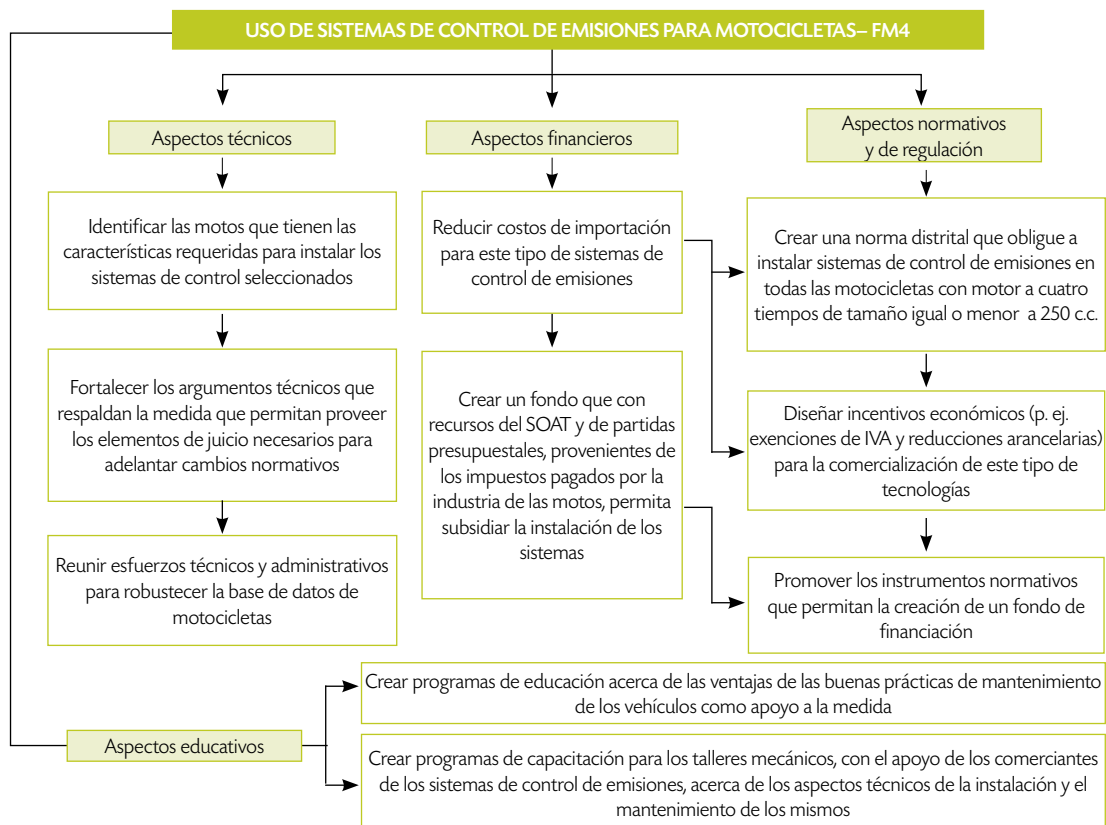


Figura FM4.F. Opciones de implementación de la medida.

8.2.2.5 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 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 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 diesel 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 diesel (DOC) en todos los camiones de Bogotá. Los vehículos de transporte de carga 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 vehículos de transporte de carga 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 diesel (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 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.

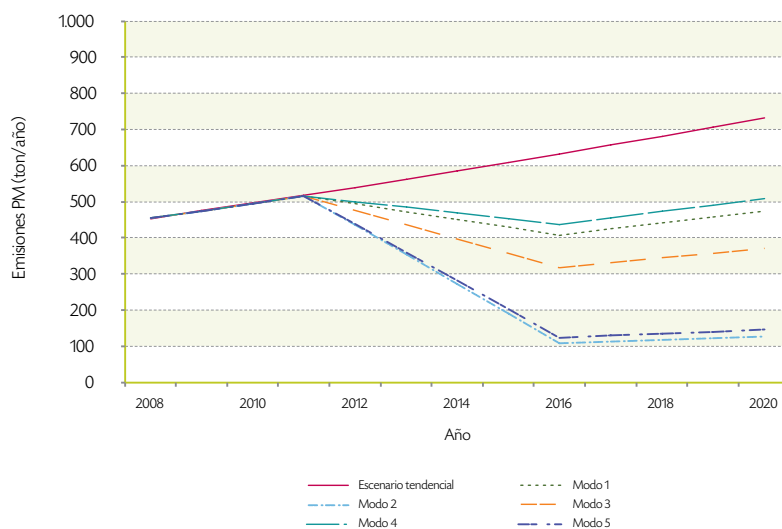


Figura FM5.A. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de PM de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

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 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.

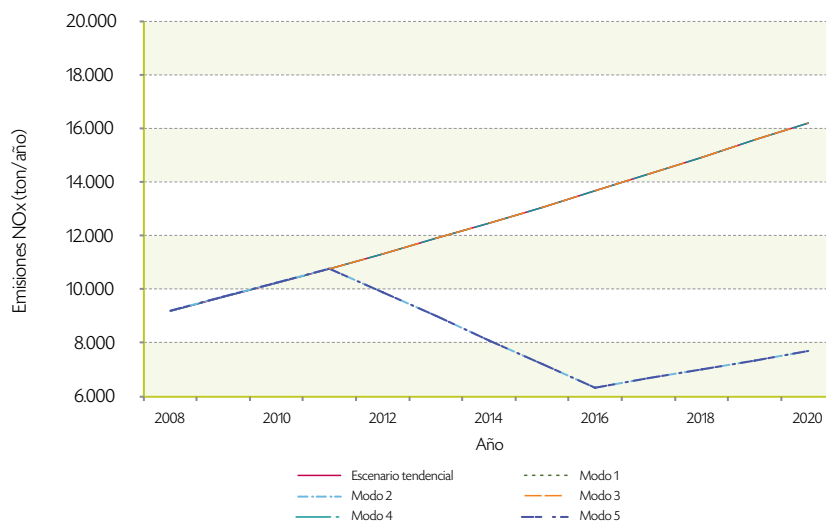


Figura FM5.B. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de NO_x de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

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).

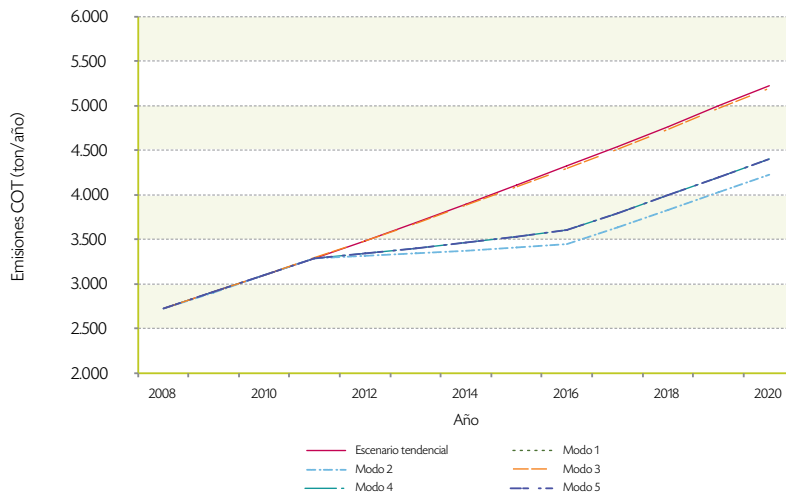


Figura FM5.C. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de COT de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

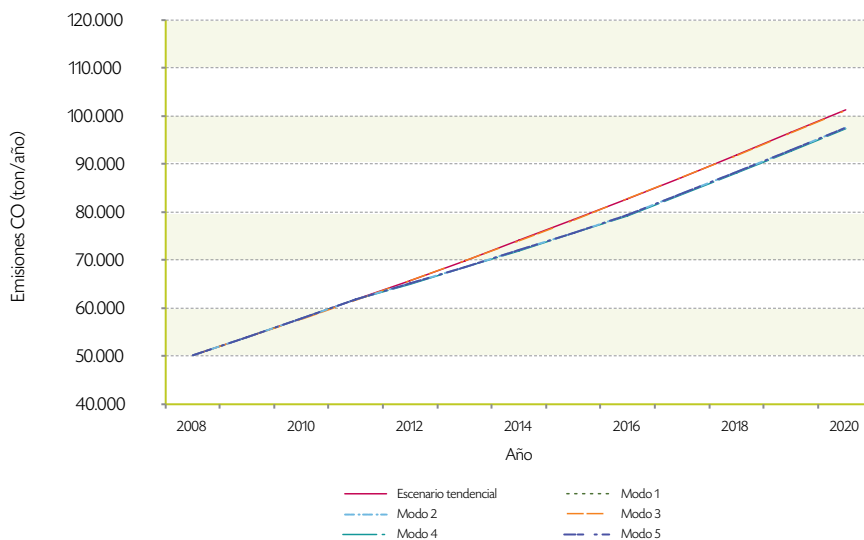


Figura FM5.D. Efecto de la aplicación de la medida en las emisiones de CO de la flota de transporte de carga en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

- 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	NA	NA
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.

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) ⁵²
Modo 1	85
Modo 2	655
Modo 3	315
Modo 4	1,400
Modo 5	900

- l. **Actores:** A continuación se listan los posibles actores y los roles que 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	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	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 Distrital de Movilidad	Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría Distrital de Hacienda	Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.

52 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.

Tabla FM5.F. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Propietarios y conductores de camiones	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 circulen 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 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.
- 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.

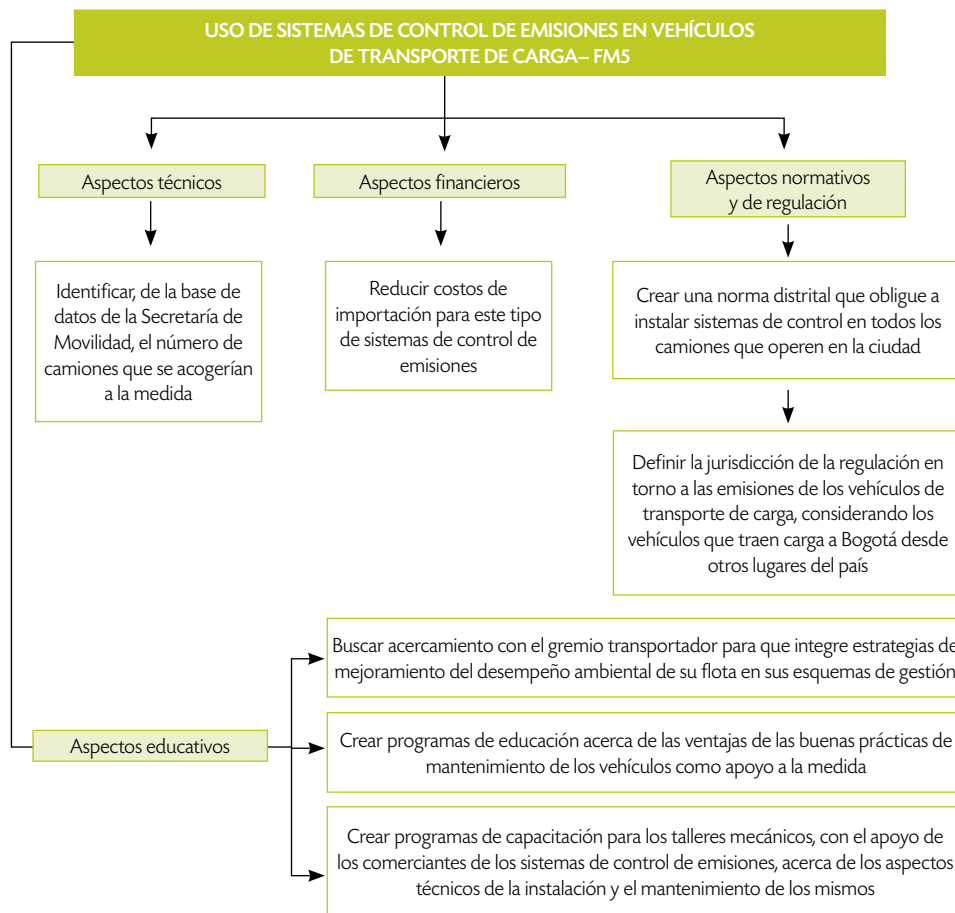


Figura FM5.E. Opciones de implementación de la medida.

8.2.2.6 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 2009 en la página Web de contratación del Distrito. Dicha información fue complementada con otras fuentes (vg., variables relacionadas con la eficiencia del sistema, variables de desempeño ambiental) PDDAB. Es importante resaltar que los términos finales del contrato para la operación del SITP 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 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 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 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.

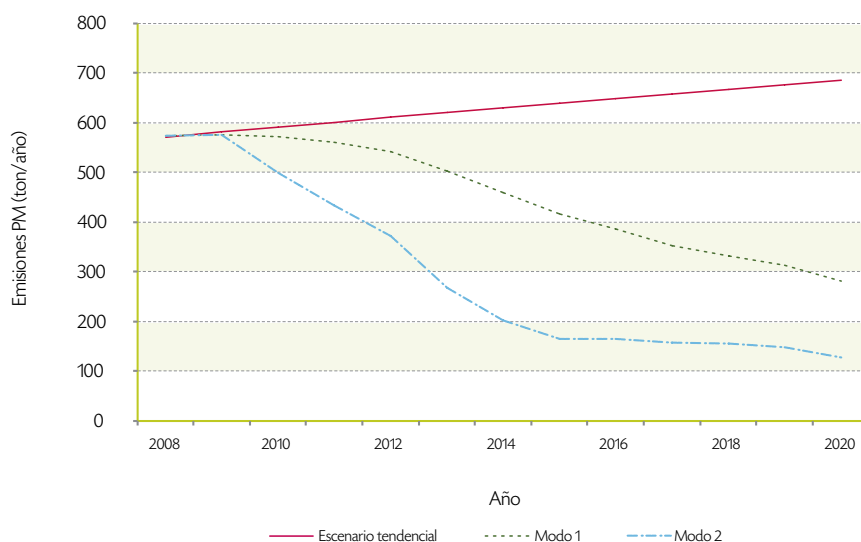


Figura FM6.A. Efecto de la implementación del SITP en las emisiones de PM del sector de transporte público en comparación con las emisiones del mismo sector en el escenario tendencial (en donde no se incluye al SITP).

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 sólo 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 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	NA	NA
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.

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
Social	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 Distrital de Movilidad	Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría Distrital 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 transporte (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 programas de divulgación de la medida para los usuarios del sistema de transporte público.

n. Barreras:

- Presencia de operadores ilegales que 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.

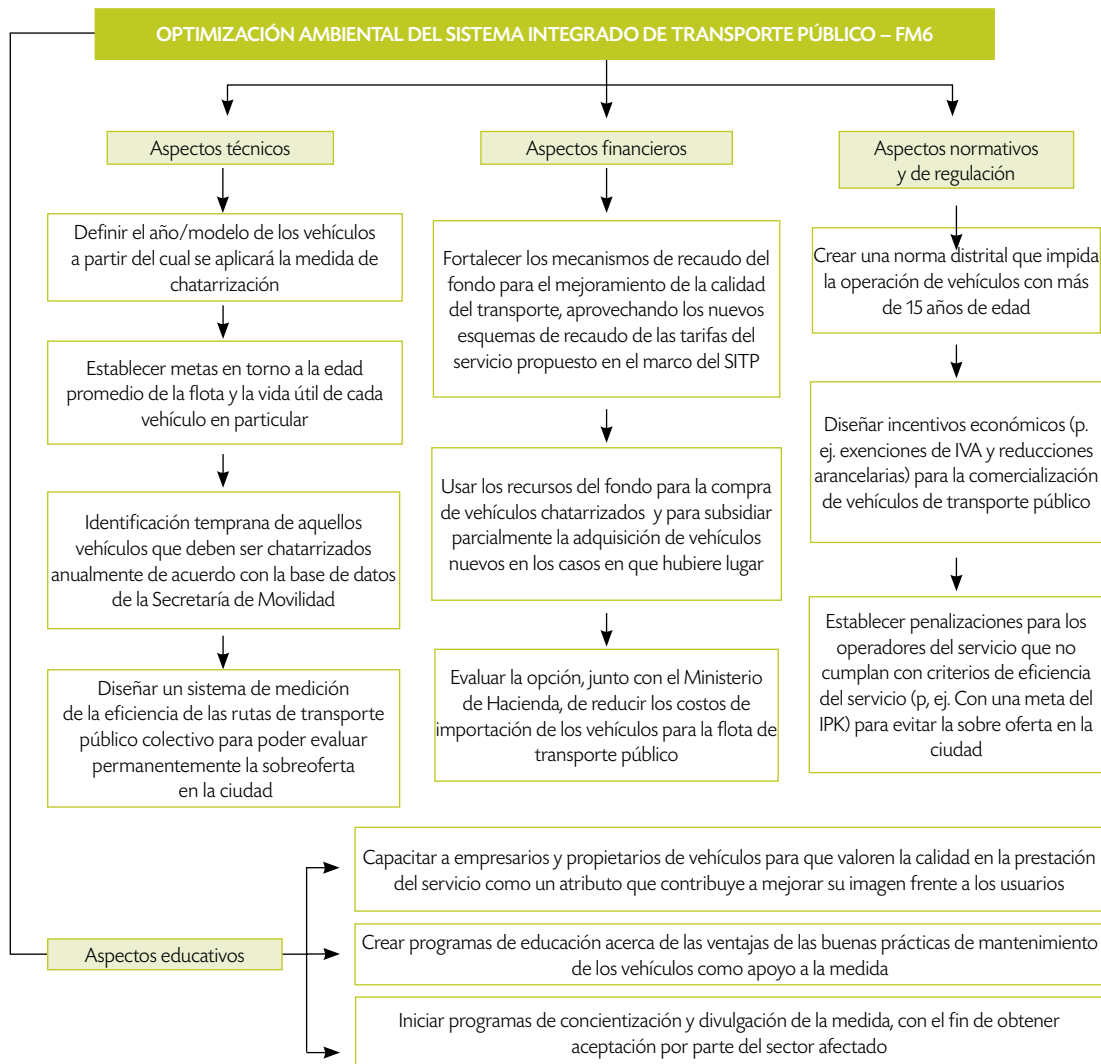


Figura FM6.B. Opciones de implementación de la medida.

8.2.2.7 Instalación de filtros de partículas en aquellos buses y busetas que entrarán a formar parte de la flota del SITP-FM7

- Tipo de fuente:** Fuentes móviles.
- Categoría:** Transporte público colectivo.
- 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 diesel existe un amplio abanico 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 el 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 diesel (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 respecto 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.

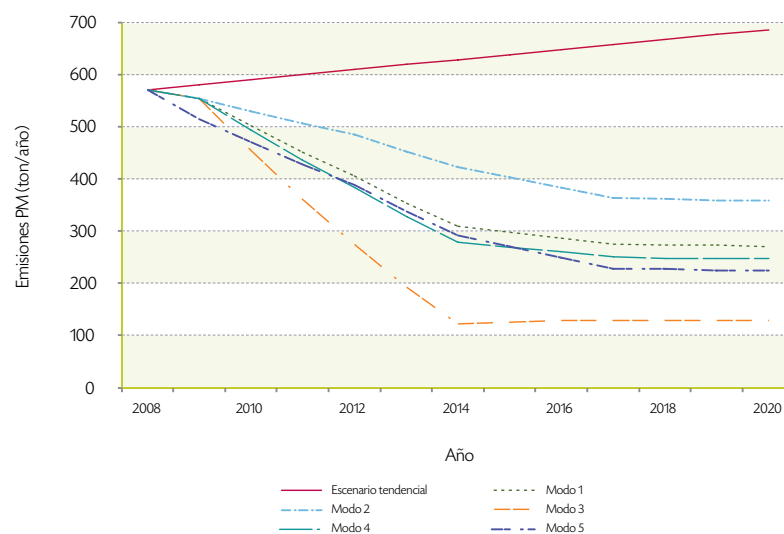


Figura FM7.A. Efecto de la medida (escenario SCE1) en las emisiones de PM del sector de transporte público en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

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).

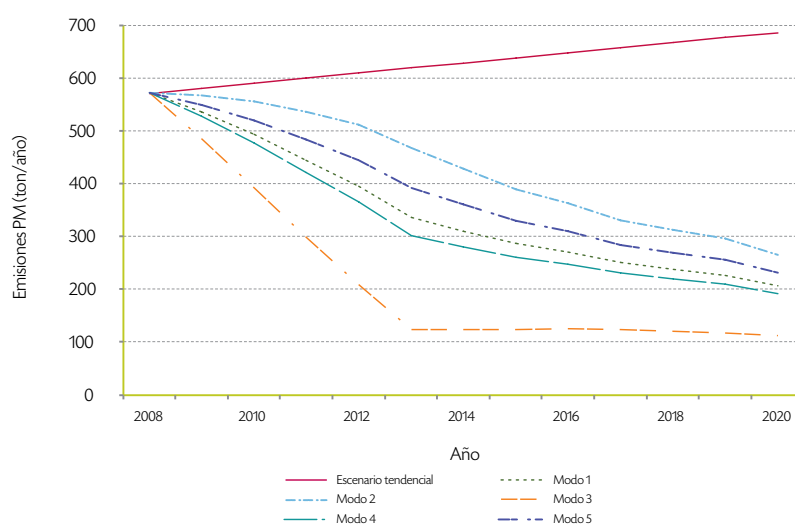


Figura FM7.B. Efecto de la medida (escenario SCE2) en las emisiones de PM del sector de transporte público en comparación con las emisiones de este sector en el escenario tendencial.

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 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	SCE 2	SCE 1	SCE 2
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.

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	16
Modo 2	12	13
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	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	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 casas matrices de los buses.
SENA	Liderar el proceso de capacitación de operarios en el manejo e instalación de los sistemas de control de emisiones.

Entidad	Roles
Secretaría Distrital de Movilidad	Apoyar las diferentes etapas de implementación y control de la medida.
Secretaría Distrital 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	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 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.

5. *Otros:*

- Esta medida requiere un bajo contenido de azufre en el combustible diesel, 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 Transmilenio 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 Distrital 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. Requerir a través de la 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 capacitación acerca de las ventajas de las buenas prácticas de mantenimiento de los vehículos como apoyo a la medida.

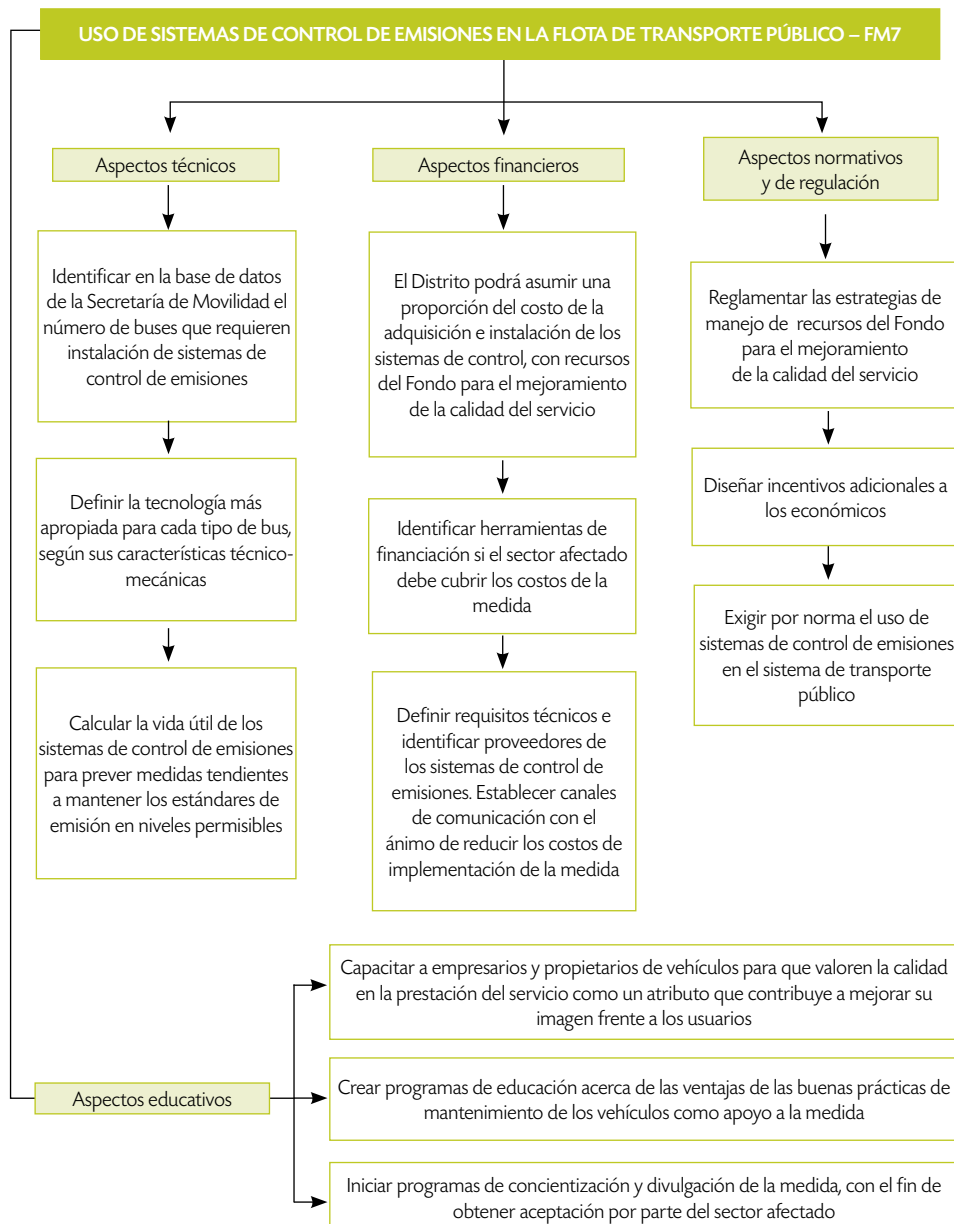


Figura FM7.C. Opciones de implementación de la medida.



Generación del portafolio óptimo de medidas

Generación del portafolio óptimo de medidas

La selección de las medidas del plan se realizó mediante el uso de un modelo de optimización. 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 (ver Tabla 19). Adicionalmente, el modelo de optimización permitió obtener el cronograma de implementación de las medidas (ver Tabla 20).

Las medidas incluidas en el proceso de optimización y los diferentes modos de implementación de cada una se presentaron en capítulo 8. En total se analizaron 54 modos de implementación para las medidas propuestas.

En la Tabla 18 se presenta la meta de emisiones de PM para el 2020 propuesta para el plan de descontaminación, con el beneficio esperado en términos de calidad del aire.

Tabla 18. Meta en emisiones de PM del plan de descontaminación

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

* 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 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 las medidas/proyectos mínimos necesarios para lograr las metas del plan (ver Tabla 19). 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 Sistema Integrado de Transporte Público (SITP).

Para este último caso debe resaltarse que las consecuencias del SITP podrían haberse considerado como resultados esperados del escenario tendencial. Éste, sin embargo, no fue el caso durante el desarrollo del PDDAB 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 sólo para la movilidad de la ciudad sino también para su política ambiental de corto y largo plazo.

Tabla 19. 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 8.2.1.3)
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 8.2.1.2)
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 8.2.2.5)
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 c.c. Este requerimiento aplicará también para nuevos vehículos que entren al parque (ver Sección 8.2.2.4)
5A	Transporte (SITP)	Implementación del sistema integrado de transporte público		Implementar el SITP con su programa de renovación continua de flota y chatarrización (ver Sección 8.2.2.6)
5B	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 del SITP (ver Sección 8.2.2.7)

Tabla 20. Cronograma de implementación de las medidas.

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

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 considera conveniente iniciar

la implementación del 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 por el gas natural. Finalmente, hacia el final del periodo de planeación se debería iniciar la implementación del uso de sistemas de control de emisiones en la industria.

En las figuras 56 a 59 se presentan las emisiones de PM, NO_x, CO y COT para el período 2008-2020. Es importante anotar que estos valores tienen una incertidumbre asociada a la de los datos utilizados para su generación.

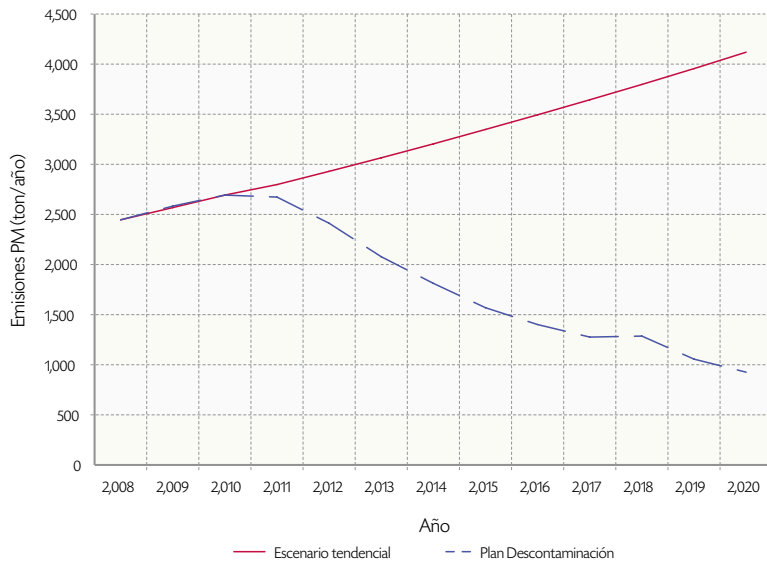


Figura 56. Emisiones de material particulado entre 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.

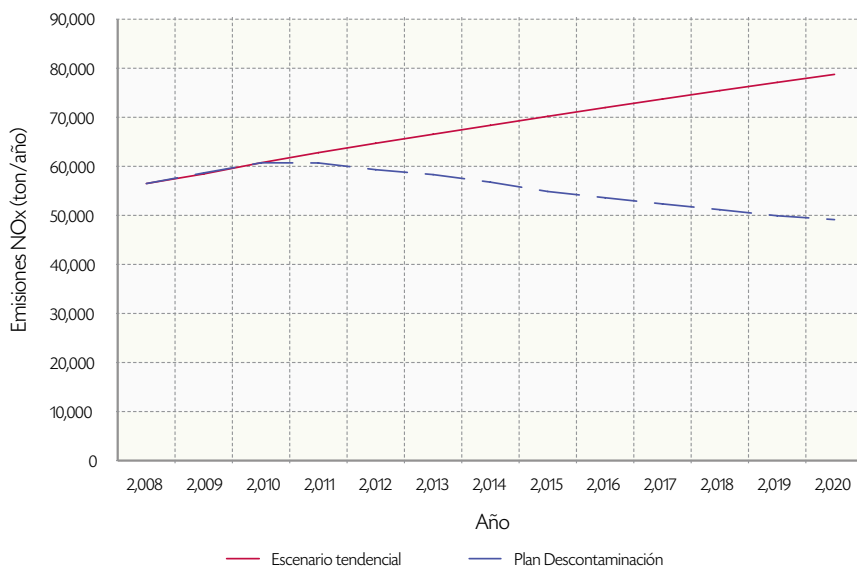


Figura 57. Emisiones de óxidos de nitrógeno entre 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.

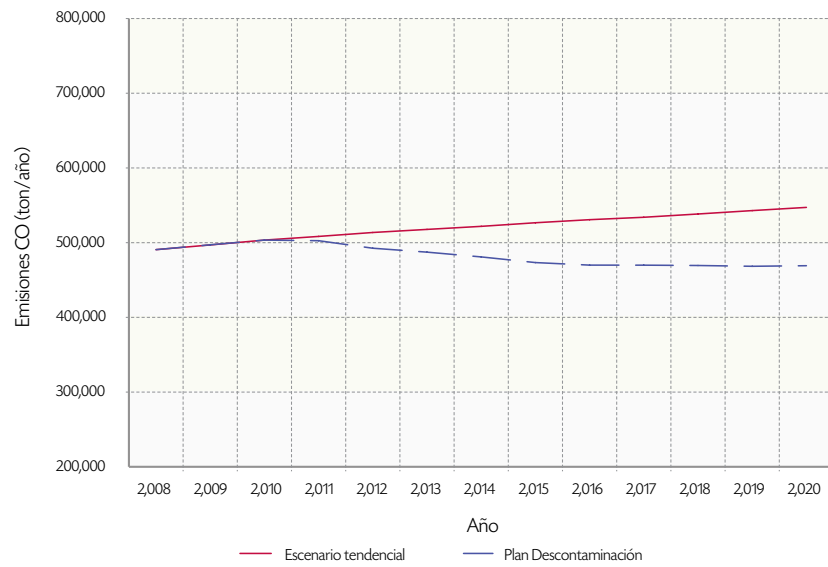


Figura 58. Emisiones de monóxido de carbono entre 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.

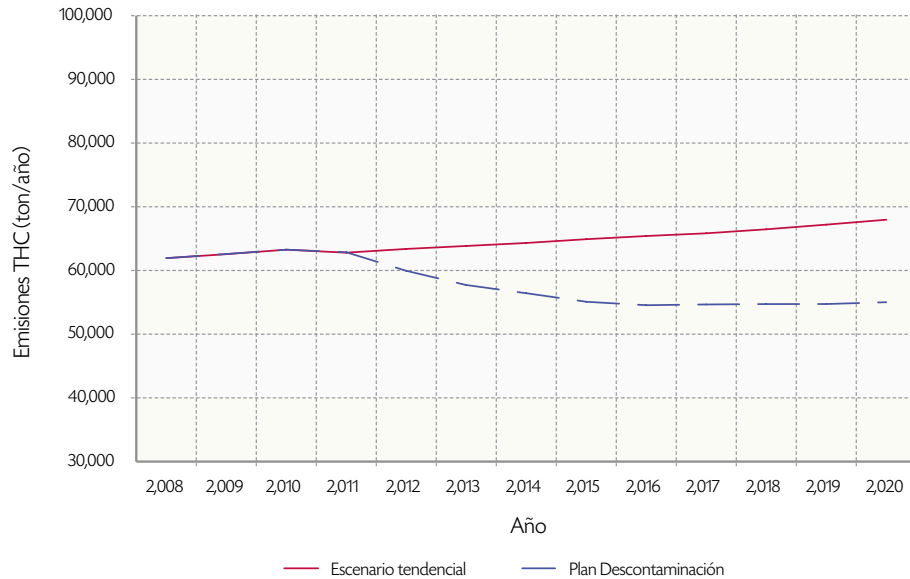


Figura 59. Emisiones de compuestos orgánicos totales entre 2008 y 2020 en el escenario tendencial en comparación con las emisiones en el escenario con plan de descontaminación.

En la Tabla 21 se presentan las emisiones acumuladas en el periodo comprendido entre 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 21. 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 (%)*	45%	19%	8%	11%	26%

*El valor de reducción se refiere al porcentaje de emisiones que se dejan de emitir con la implementación del PDDAB 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 2020 en comparación con el 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.

10

Medidas complementarias

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 PDDAB.

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.

10.1 **Medidas y recomendaciones sugeridas por la ciudadanía en el proceso de política participativa**

10.1.1 *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 sólo 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, requiere contar con la participación no solo de la SDA sino 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 capacitación 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 cuente 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, ésta 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 sobre otros sectores.

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. Asimismo, puede ser un elemento que contribuya a la aceptación y participación de la ciudadanía en la implementación de las medidas del PDDAB.	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	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	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 garantizar la continuidad de esta medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	Proveer información para su divulgación por la academia y otros actores. 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	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	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 Distrital de Hacienda	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.



Fotografía 9. Trabajo interinstitucional

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 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 organizado 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.

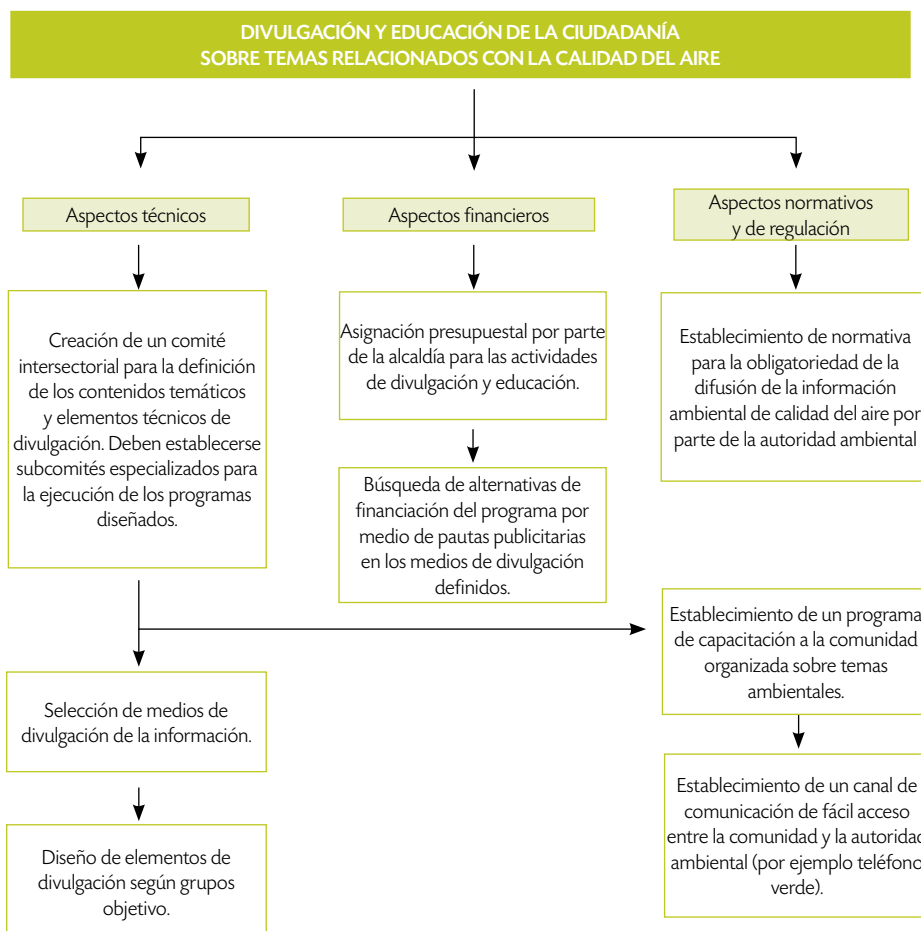


Figura MC1.A. Opciones de implementación de la medida.

10.1.2 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 RM CAB, 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).

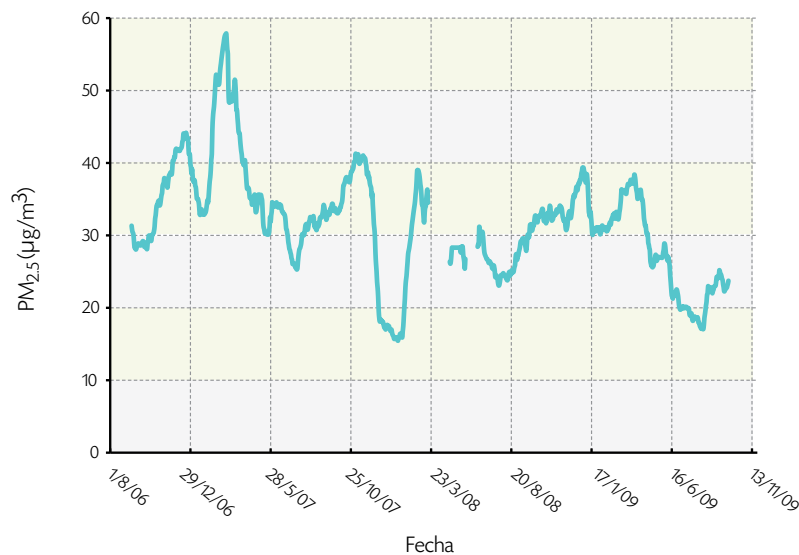


Figura MC2.A. Media móvil (30 días) - Concentración de $PM_{2.5}$ en la Estación Kennedy.

Fuente: SDA (2009).

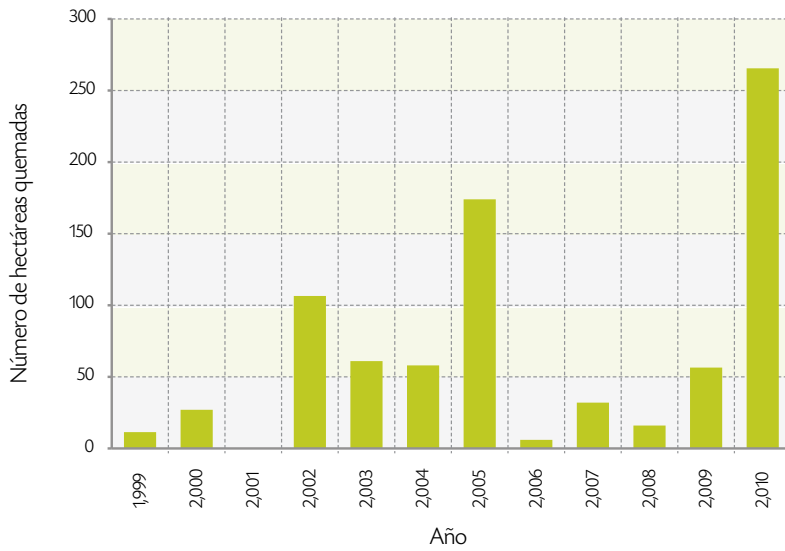


Figura MC2.B. Número de incendios ocurridos en Bogotá por trimestres.

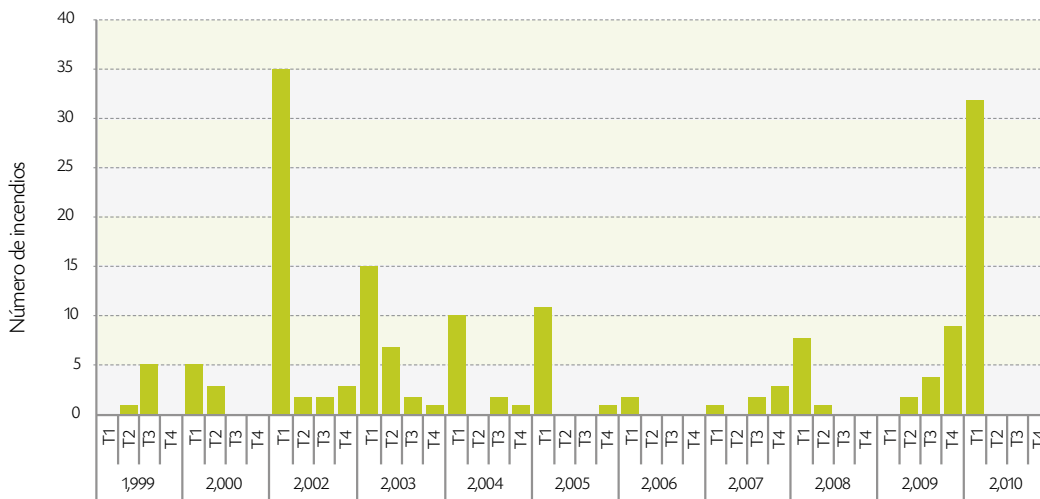


Figura MC2.C. Tamaño de los incendios registrados anualmente.

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 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 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

Sector	Descripción de los impactos	Calificación
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 localizado 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	Liderar el proceso de concertación entre actores involucrados. Definir programas intersectoriales para dotar de integralidad a la medida.
Secretaría Distrital de Ambiente	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	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	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.	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	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 restrictivos 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.

10.2 Medidas y recomendaciones relacionadas con fuentes industriales

10.2.1 Fortalecimiento del programa de seguimiento y control a las industrias

a. Tipo de fuente: Fuentes fijas

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), toma fuerza el continuo mejoramiento y fortalecimiento del programa de seguimiento de emisiones a las industrias ejercido por la SDA. A continuación se mencionan algunas estrategias que contribuyen al desarrollo de la medida.

- 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.
- b. 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.
- c. 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 sobre otros sectores.

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

- d. 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	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.

Entidad	Roles
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética	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	Promover procesos de articulación con otras entidades del nivel gubernamental en las actividades de comando y control que influncian 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 Distrital de Hacienda	Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.
Sector Industrial	Participar en las actividades de capacitación que se planeen.

Tabla MC4.C. Otros/Ciudadanía.

Entidad/Grupo	Roles
Ciudadanía	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.

e. 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 y Consumo Sostenible: La medida propuesta es consistente con los objetivos de la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible específicamente con el tercer objetivo de esta política: 3) Fortalecer el marco institucional que impulsa la producción y el consumo sostenible dentro del territorio nacional.
- 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.

10.2.2 *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 a 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 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 sobre otros sectores.

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	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 Distrital 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	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	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.

10.2.3 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 (vg, 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 SO_2 . 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 sobre otros sectores.

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.

Entidad	Roles
Secretaría Distrital 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.	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	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.

10.2.4 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.

10.3 Medidas y recomendaciones relacionadas con fuentes vehiculares

10.3.1 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 dado como resultado 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 sólo las emisiones atmosféricas sino el consumo de combustible. Dentro de la medida encaminada a 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 sobre otros sectores.

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.

Entidad	Roles
Secretaría Distrital 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.

10.3.2 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 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	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	Creación de programas de divulgación y educación dirigidos hacia los propietarios y conductores de los vehículos del servicio de TPI.
Secretaría Distrital de Movilidad	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 Distrital de Hacienda	Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.
Transmilenio S.A.	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.	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	En caso de que sean definidas Zonas Amarillas, 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.

10.3.3 Recomendaciones adicionales

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 sólo 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 atmosféricas 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 controlar. 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 diesel, 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 diesel, 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.

10.4 Otras medidas complementarias

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

- a. **Tipo de fuente:** Fuentes 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. Adicionalmente, 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.
- 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 sobre otros sectores.

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	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 Distrital de Movilidad	Apoyar el proceso del cambio en los procedimientos en la toma de datos de la revisión técnico-mecánica y de gases.
Secretaría Distrital de Hacienda	Apoyar el proceso de evaluación de las diferentes opciones de financiación para la medida.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Apoyar el proceso del cambio en los procedimientos en la toma de datos de fuentes fijas y móviles
Ministerio de Transporte	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.	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.

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.

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.

10.5 Otras consideraciones

Fotografía 10 Quema a cielo abierto, producción de carbón vegetal

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 coadyuva a la contaminación del aire. Se estimó que la contribución de esta actividad puede llegar a ser de alrededor del 20% de las emisiones de material particulado provenientes de las fuentes fijas. Las emisiones producidas por esta actividad se hacen más críticas en términos de exposición personal, no sólo 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 y áreas más cercanos a Bogotá (Cota, Soacha, Sibaté, Mosquera, La Calera, Cajicá, Funza, Mochuelo y Sopó), los promedios de concentración de PM_{10} registrados en el 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. El actual cubrimiento de la red es apropiado desde un punto de vista geográfico por lo que es mucho más prioritaria la modernización de equipos y la complementación de parámetros en las estaciones actuales que la expansión de la red.



Beneficios en salud del Plan de Descontaminación

Beneficios en salud del Plan de Descontaminación

11.1 Análisis beneficios en la salud

En la Figura 60 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 verían 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.

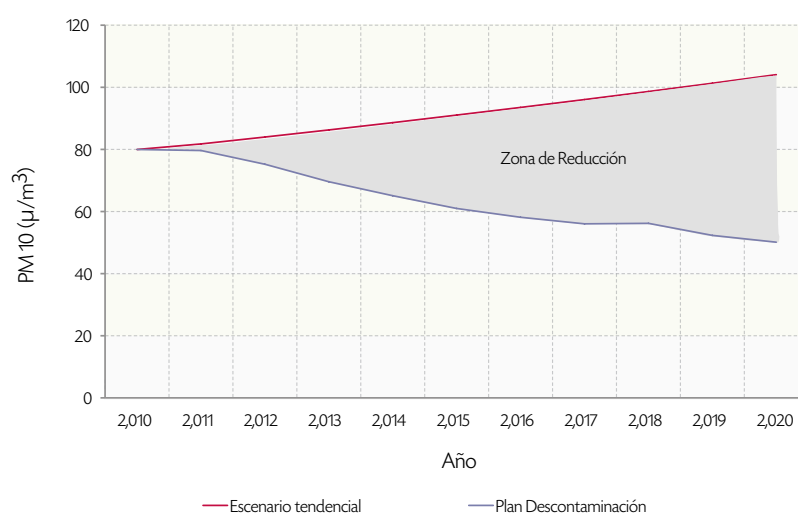


Figura 60. Concentración de PM 2010-2020 (valorada por la metodología PCA) en el escenario tendencial en comparación con el escenario con plan de descontaminación.

En la Tabla 22 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 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 22. 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%)*	Casos evitados con el plan 2010-2020 (IC 95%)*
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)

* 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 PM_{10} 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 (UCI). 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 38,300 casos evitados en atención en urgencias 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 23 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 23. Resumen de beneficios económicos por la reducción de material particulado esperada con la implementación del plan de descontaminación

Efecto	Beneficio económico* (IC 95%)**
Morbilidad***	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)

* Costo en millones de pesos del 2009. ** Los valores del rango representan el intervalo de confianza del costo, este se estimó a partir de los intervalos de confianza de los RR correspondientes. *** El 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.

Adicionalmente, vale la pena mencionar que debido a las características de los beneficios en salud, estos continuarán presentándose después del 2020 y por lo tanto los beneficios totales son mayores a los proyectados para el periodo de análisis del plan (2010-2020)

11.2 Análisis costo beneficio

La implementación del portafolio óptimo de proyectos (en el periodo 2010-2020), seleccionado para Bogotá, permite el cumplimiento de la meta de calidad del aire establecida ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el

caso de la fracción respirable del material particulado) a nivel de toda la ciudad (calculada a partir del método de PCA). Para dicho efecto se hace necesario que las emisiones anuales para el contaminante en referencia sean inferiores a 940 toneladas.

El análisis costo beneficio se llevó a cabo mediante 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 24.

Tabla 24. 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 24 se destaca que en todos los escenarios contemplados se presenta una relación beneficio/costo significativa.

La diferencia entre el escenario tendencial y el escenario con la implementación del PDDAB descrita en la sección anterior permite establecer que los beneficios no sólo corresponden con un mejoramiento de la calidad del aire sino que se presenta un triple resultado:

- Ambiental: Un mejoramiento de la calidad ambiental debido a la reducción de la emisión de contaminantes a la atmósfera para el periodo 2010-2020. Se dejaría de emitir, el 45% de las emisiones acumuladas de PM que se tendrían en el escenario tendencial. Para los demás contaminantes estudiados se obtienen menores beneficios, se dejaría de emitir el 19%, 8% y 11% de toneladas acumuladas de NO_x, CO y TOC, respectivamente.
- Social: Un impacto positivo en la reducción del número de eventos de morbilidad y mortalidad asociados a la contaminación atmosférica; se evitarían 27,500 hospitalizaciones por causas respiratorias, 75,000 atenciones en salas ERA, alrededor de 5,500 casos en unidades de cuidados intensivos y 1,500 casos potencialmente evitables de mortalidad en niños. Para el caso de los adultos, los beneficios de la implementación del PDDAB representarían evitar alrededor de 14,000 muertes, más de 40,000 casos de atención en urgencias y alrededor de 11,000 casos de admisiones hospitalarias por causas respiratorias.
- Económico: Finalmente y no menos importante se obtiene un beneficio económico, que se relaciona no sólo con el costo evitado por la atención en salud de los eventos antes mencionados, sino también con los costos asociados a la incidencia de tales eventos entre éstos, la implementación de medidas de carácter reactivo. (véase Tabla 24)

Para el logro de estos resultados, los costos de las medidas ascienden a 1.7 billones de pesos, mientras que los beneficios en referencia son equivalentes a 16 billones de pesos. De esta manera, de forma consistente con lo que ha sido reportado en estudios previos, desarrollados en otros lugares del mun-

do, puede establecerse que por cada peso que se invierta en proyectos para lograr la descontaminación del aire, se logran beneficios económicos de alrededor de 9 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



Seguimiento al PDDAB

Seguimiento al PDDAB

El Portafolio óptimo de proyectos dio como resultado además, un cronograma de implementación de las medidas en su estado más costo efectivo; un seguimiento a su implementación toma vital importancia en razón de los ajustes y mejoramiento continuo que deban implementarse. Para dicho efecto, se deberá 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.

La técnica de análisis de componentes principales (PCA) utilizada para el desarrollo de indicadores de efectividad del PDDAB se constituye en un importante instrumento en el ámbito estadístico y conceptual al momento de efectuar el seguimiento al cumplimiento de las metas previstas en el plan.

El PCA se propone como un mecanismo de seguimiento en el tiempo del PDDAB, a partir de análisis que sean más sofisticados que el cálculo de un promedio de las concentraciones observadas en las diferentes estaciones que conforman la RMCAB, pues hace posible ver la información del sistema sin ruido y con esto reducir la incertidumbre asociada al mismo.

En este caso da mayor relevancia a las áreas de la ciudad donde la varianza de los datos registrados es mayor, por lo tanto 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.

Referencias

- ALCALDÍA MAYOR. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente -DAMA. 1996. Concurso Público de Méritos No. 01 de 1996, Términos de referencia para “Contratar el diseño, suministro de equipos, montaje, puesta en marcha, operación y mantenimiento por un año de la red para el sistema de información sobre la calidad del aire de Santafé de Bogotá”.
- APCYTEL. 1998. Informe de Calidad del Aire 1997. Estaciones y Sensores de la Red de Calidad del Aire – DAMAIRE. Bogotá.
- APCYTEL. 1999. Informe de Calidad del Aire 1998. Comparación de las tendencias de los resultados obtenidos en 1997 y los correspondientes a 1998. Bogotá.
- 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/>
- CCB-SDA, & Amaris, C. 2008. *Formulación de una Política de Eficiencia Energética para Bogotá*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2010, de www.corporacionambientalempresarial.org.co: http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/documentos/304_Informe_Final_eficiencia_energetica_24Sep08.pdf
- 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>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS/OPS. División de Salud Ambiental. 1975. Red Panamericana de Muestreo de la Calidad del Aire (RED - PANAIRE). Informe 1967-1974.
- Chui, E.H., et al. 2010. Performance improvement and reduction of emissions from coal-fired utility boilers in China. *Energy for Sustainable Development*.
- 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.

ELIOVAC. 1996. Informe DAMA Contrato 042, Numeral 4. Determinación de los lugares de instalación de las estaciones remotas. Anexo. Informe Técnico.

Empresa Colombiana de Petróleos –ECOPETROL. 1995. Sistema de información para el mejoramiento de la calidad del aire en Santa Fe de Bogotá.

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.

Gaitán, M y Behrentz, E. 2009. Evaluación del estado de la calidad del aire en Bogotá. Tesis de maestría. Universidad de Los Andes. Disponible en http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis_12009_primer_semestre/523.pdf

FIA. 2007. 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. 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. 2009. The impacts of combustion emissions on air quality and climate- From coal to biofuels and beyond. Atmospheric Environment, 43.

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.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2002. Anexo 1. Revisión y Validación del Diseño de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá. Auditoría a la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá.

Japan International Cooperation Agency - JICA. 1992. The study of air pollution control plan in Santafé de Bogotá city area. Final Report. Vol. 1 Summary.

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.

McGranahan, G y Murray, F. 2003. Air pollution and health in rapidly developing countries. Earthscan Publications Ltda. Londres.

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.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), M. d. 2010. Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Ministerio de la Protección Social. Dirección General de Planeación y Análisis de Política. Disponible en línea: <http://www.minproteccionsocial.gov.co/>

Mintransporte. (s.f.). Ministerio de Transporte. 2010. Recuperado el 19 de Diciembre de 2010, de http://www.mintransporte.gov.co:8080/transporte_urbano/ciudadesview.asp?ciudadid=1

Ministerio de Salud. 1984. Anexo Estadístico. Informe Anual. Sistema de Información sobre la Calidad del Aire - SICA. Bogotá.

Movilidad. 2006. Secretaría Distrital de Movilidad. Recuperado el 19 de diciembre de 2010, de <http://www.movilidadbogota.gov.co/?sec=170>

Movilidad. (s.f.). Secretaría de Movilidad de Bogotá. Recuperado el 19 de diciembre de 2010, de http://www.movilidadbogota.gov.co/hiwebx_archivos/ideofolio/08-TransportePublico_15_9_24.pdf

Proenca, L. A. 2007. Foro Latinoamericano de prácticas democráticas, decisiones públicas y ciudadanía, Egap -Ash Institute. Presupuesto participativo de Portoalegre, Brasil. Monterrey, México.

Ruíz, Alba M., Behrentz, E. 2009. Análisis de la calidad de los combustibles líquidos comercializados en Bogotá. Universidad de los Andes.

SAINCO. 1995. Red de Monitoreo de Contaminación Atmosférica de la ciudad de Santafé de Bogotá.

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, 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.

Secretaría Distrital de Ambiente SDA-Unisalle. 2008. Convenio 052 de 2007. Bogotá.

Secretaria 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.

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. 1998. *Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines*. American Press.

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, VI. 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.

Witham, C and Manning, A. 2007. *Impacts of Russian biomass burning on UK air quality*. *Atmospheric Environment* 41, 8075-8090.

WRIGHT ENVIRONMENTAL INC. Informe Interventoría No. 2. Correspondiente a Nov, Dic., Ene./97. Anexo 5.1 Informe Definitivo del Diseño de la Red de Calidad del Aire. Febrero de 1997.

Unidad de Planeación Minero Energética UPME. 2007. Plan energético nacional, Estrategia energética integral 2006-2025.

Unidad de Planeación Minero Energética UPME. 2008. Principales Indicadores UPME Balance Minero Energético. Recuperado el 18 de diciembre de 2010, de UPME: http://www1.upme.gov.co/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=108.

Anexos

Anexo 1. Listado de categorías vehiculares con los criterios de clasificación, los factores de actividad y los factores de emisión asociados.

Descripción de la categoría vehicular	Categoría	Criterio de clasificación	Combustible usado	No. De vehículos	FA (Km/año)	Factores de emisión (g km-1)				
						CO ₂	CO	NO _x	THC	PM
Vehículos de pasajeros	VP1	TWC ; « 1400 c.c.	Gasolina	180.977	13.140	232,00	7,20	0,73	0,90	0,003
Vehículos de pasajeros	VP2	TWC ; » 1400 c.c.	Gasolina	119.819	18.250	312,00	8,50	0,90	0,90	0,003
Vehículos de pasajeros	VP3	No TWC ; « 1400 c.c.	Gasolina	123.771	9.490	218,00	58,00	1,20	7,20	0,003
Vehículos de pasajeros	VP4	No TWC ; » 1400 c.c.	Gasolina	103.048	9.490	312,00	69,00	2,20	9,00	0,003
Vehículos de pasajeros	VP5	-	GNV	9.567	12.593	241,00	13,00	3,70	5,00	0,003
Camperos y camionetas	CC1	TWC	Gasolina	99.778	21.900	379,00	11,00	1,00	0,70	0,003
Camperos y camionetas	CC2	No TWC ; « 2500 c.c.	Gasolina	48.026	12.331	385,00	73,00	3,00	10,00	0,003
Camperos y camionetas	CC3	No TWC ; » 2500 c.c.	Gasolina	42.296	12.540	460,00	85,00	4,00	7,50	0,003
Camperos y camionetas	CC4w	-	GNV	26.568	13.140	442,00	34,00	3,50	4,00	0,023
Camperos y camionetas	CC5	« 2500 c.c.	ACPM	4.543	21.900	236,92	1,39	1,01	0,79	0,097
Camperos y camionetas	CC6	» 2500 c.c.	ACPM	7.830	12.436	310,00	1,39	1,01	0,79	0,097
Taxis	T1	Gasolina	Gasolina	30.600	73.000	258,00	8,40	2,00	0,86	0,003
Taxis	T2	GNV	GNV	20.400	73.000	241,00	13,00	3,70	5,00	0,003
Motos	M1	2 tiempos	Gasolina	15.477	25.000	28,09	7,56	0,03	4,33	0,148
Motos	M2	4 tiempos	Gasolina	101.000	25.000	33,11	6,67	0,27	1,67	0,090
Microbuses	MBg	-	Gasolina	4.680	65.700	415,99	65,20	3,90	3,70	0,042
Buses y busetas	B1	« 5000 c.c.	ACPM	7.866	65.700	561,16	5,87	9,78	1,22	0,256

Descripción de la categoría vehicular	Categoría	Criterio de clasificación	Combustible usado	No. De vehículos	FA (Km/año)	Factores de emisión (g km-1)				
						CO ₂	CO	NO _x	THC	PM
Buses y busetas	B2	» 5000 c.c.	ACPM	5.622	65.700	787,03	9,08	15,21	1,88	1,210
Buses y busetas	B3	« 6000 c.c.	Gasolina	1.696	65.700	487,70	88,08	5,24	5,33	0,041
Buses y busetas	B4	» 6000 c.c.	Gasolina	2.755	65.700	494,40	105,94	6,23	12,00	0,041
Bus articulado	TM	-	ACPM	1.070	69.350	685,16	1,84	7,33	0,73	0,294
Microbuses	MB	-	ACPM	5.304	65.700	367,19	3,32	5,99	0,70	0,029
Buses escolares	ET1	« 5000 c.c.	ACPM	125	63.000	561,16	5,87	9,78	1,22	0,612
Buses escolares	ET2	» 5000 c.c.	ACPM	243	63.000	787,03	9,08	15,21	1,88	0,612
Microbuses Colectivos	MC	-	GNV	7.829	65.700	272,83	20,12	2,27	0,11	0,013
Camiones	C1	« 1997; « 6000 c.c.	ACPM	4.992	31.025	490,87	6,26	9,66	1,24	0,869
Camiones	C2	« 1997; » 6000 c.c.	ACPM	6.381	31.025	702,57	9,49	14,69	1,87	0,845
Camiones	C3	» 1997	ACPM	13.624	31.025	503,20	1,21	5,00	0,49	0,311
Camiones	C4	« 6000 c.c.	Gasolina	8.685	31.025	438,92	85,74	4,79	4,64	0,051
Camiones	C5	≥ 6000 c.c.	Gasolina	3.594	31.025	474,77	108,49	6,00	5,87	0,051
Camiones	C6	« 6000 c.c.	GNV	6.089	31.025	377,61	32,46	2,01	0,15	0,003
Camiones	C7	≥ 6000 c.c.	GNV	4.349	31.025	430,37	40,84	2,51	0,19	0,003

Anexo 2. Factores de emisión utilizados en la estimación del inventario de emisiones industriales de Bogotá.

Categoría	Tecnología	Combustible	Factor de emisión				Unidades
			PM	COT	NO _x	CO ₂	
CG1	Caldera » 100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997)	Gas natural	589	176	6,395	1,920,000	mg/m ³
CG2	Caldera » 100 BHP (año de fabricación mayor a 1997)	Gas natural	237	176	788	1,920,000	mg/m ³
CG3	Caldera » 100 BHP	Gas natural	46	176	1,075	1,920,000	mg/m ³
HG1	Horno de alimentos	Gas natural	196	176	1,221	1,920,000	mg/m ³
HG2	Horno de secado y curado	Gas natural	196	176	1,221	1,920,000	mg/m ³
HG3	Horno de fundición y cremación	Gas natural	30	176	1,504	1,920,000	mg/m ³
ACF	Caldera industrial y comercial » 15 BHP	Fuel oil residual (Fuel oil No. 5 y 6)	1,200,000	173,100	6,600,000	3,000,000,000	mg/m ³
ACD	Caldera industrial y comercial » 15 BHP	Fuel oil destilado (Diesel)	840,000	48,480	2,400,000	2,676,000,000	mg/m ³
AHF	Horno residencial	Fuel oil destilado	476,000	299,160	2,142,000	2,676,000,000	mg/m ³
GLP	Horno y caldera con aplicaciones industriales	Gas licuado de petróleo	24,000	120,000	2,261,000	1,500,000,000	mg/m ³
CTA	Caldera (vapor) textiles	Aceite usado	6,030,000	ND	4,170,000	ND	mg/m ³
HFA	Horno fundición	Aceite usado	2,970,000	ND	1,110,000	ND	mg/m ³
CC1	Caldera » 100 BHP	Carbón	6	0.2	8	2,840	mg/kg
CC2	Caldera » 100 BHP	Carbón	10	0.2	4	2,840	mg/kg
HL	Horno ladrillero	Carbón	13	0.5	5	2,343	mg/kg
HC	Horno	Carbón	13	0.5	5	2,343	mg/kg

Fuente de información:

SUR, 2008: PM y NO_x para las categorías CG1, CG2, CG3, HG1, HG2, CTA, HFA, CC1, CC2, HL y HC.EPA, 2008: COT y CO₂ para las categorías: CG1, CG2, CG3, HG1, HG2, HG3, ACF, ACD, AHF, GLP, CC1, CC2, HL y HC; PM y NO_x para HG3, ACF, ACD, AHF y GLP.

Anexo 3. Características de los sistemas de control de emisiones: eficiencia de remoción y costos.

Código EPA	Tecnología	Mecanismo	Remoción (%) Efectividad de costo (\$ por m ³ /seg)				Efectividad de costo (\$ por m ³ /seg)	Costo promedio de capital (\$ por m ³ /seg)	Costo promedio de operación y mantenimiento (\$ por m ³ /seg)	Costo promedio anualizado (\$US por m ³ /seg)	
			PM	NO _x	COT	CO					SO _x
EPA-452/F-03-004	Filtros de cartucho	Captura/disposición	99	NA	NA	NA	NA	575,000	66,000	111,000	163,000
EPA-452/F-03-005	Ciclones	Fuerzas centrífugas e inerciales	80	NA	NA	NA	NA	677,000	18,000	30,000	49,000
EPA-452/F-03-006	Elutriadores	Gravedad	10	NA	NA	NA	NA	30,000	61,000	11,000	16,000
EPA-452/F-03-007	Separadores con ayuda mecánica	Centrifuga/inercia	30	NA	NA	NA	NA	1,066,000	75,000	169,000	271,000
EPA-452/F-03-008	Separadores de momento	Gravedad/inercia	5	NA	NA	NA	NA	4,000	11,000	10,000	18,000
EPA-452/F-03-009	Cámaras de asentamiento	Reducción velocidad de gas	10	NA	NA	NA	NA	7,000	17,000	742,000	2,138,000
EPA-452/F-03-010	Depurador por Condensación	Intercepción	99	NA	NA	NA	NA	191,000	33,000	13,000	18,000
EPA-452/F-03-011	Depurador con lecho de fibra	Intercepción/inercia	85	NA	85	NA	NA	1,606,000	18,000	238,000	257,000
EPA-452/F-03-012	Depurador placa de impacto/ Torre de bandejas	Intercepción/inercia	75	NA	NA	NA	90	2,000	48,000	153,000	248,000
EPA-452/F-03-013	Depurador con ayuda mecánica	Intercepción	90	NA	NA	NA	NA	4,000	91,000	372,000	384,000
EPA-452/F-03-014	Depurador de orificio	Intercepción/inercia	90	NA	NA	NA	NA	3,000	99,000	336,000	350,000
EPA-452/F-03-015	Depurador con lecho empacado	Absorción	73	NA	85	NA	85	3,000	209,000	309,000	311,000
EPA-452/F-03-016	Depurador en húmedo	Absorción	85	NA	73	NA	NA	1,539,000	26,000	103,000	165,000
EPA-452/F-03-017	Depurador tipo Venturi	Intercepción/inercia	85	NA	NA	NA	NA	4,000	77,000	405,000	647,000
EPA-452/F-03-018	Incinerador catalítico	Dstrucción por oxidación	62	NA	95	NA	NA	9,000	366,000	95,000	188,000
EPA-452/F-03-019	Antorcha	Dstrucción por oxidación	NA	NA	98	NA	NA	10,000	3,122,000,000	202,000	10,000
EPA-452/F-03-020	Incinerador tipo recuperativo	Dstrucción por oxidación	85	NA	99	NA	NA	3,000	364,000	97,000	172,000

Código EPA	Tecnología	Mecanismo	Remoción (%) Efectividad de costo (\$ por m ³ /seg)				Efectividad de costo (\$ por m ³ /seg)	Costo promedio de capital (\$ por m ³ /seg)	Costo promedio de operación y mantenimiento (\$ por m ³ /seg)	Costo promedio anualizado (\$US por m ³ /seg)
			PM	NO _x	COT	CO				
EPA-452/F-03-021	Incinerador tipo regenerativo	Destrucción por oxidación	NA	NA	97	98	NA	623,000	45,000	134,000
EPA-452/F-03-022	Incinerador termal	Destrucción por oxidación	62	NA	99	NA	NA	374,000	263,000	263,000
EPA-452/F-03-023	Filtro de aire de alta eficiencia	Captura/disposición	99	NA	NA	NA	NA	27,000	EA	EA
EPA-452/F-03-024	Filtro (sacudimiento mecánico)	Captura/disposición	97	NA	NA	NA	NA	265,000	93,000	163,000
EPA-452/F-03-025	Filtro (chorro pulsante)	Captura/disposición	97	NA	NA	NA	NA	105,000	94,000	148,000
EPA-452/F-03-026	Filtro (aire invertido)	Captura/disposición	97	NA	NA	NA	NA	319,000	111,000	188,000
EPA-452/F-03-027	Precipitador electrostático seco (PES) - Tipo tubo-alambre	Captura/disposición	95	NA	NA	NA	NA	464,000	42,000	114,000
EPA-452/F-03-028	Precipitador electrostático seco (PES) - Tipo placa-alambre	Captura/disposición	95	NA	NA	NA	NA	140,000	124,000	139,000
EPA-452/F-03-029	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo tubo-alambre	Captura/disposición	95	NA	NA	NA	NA	552,000	36,000	132,000
EPA-452/F-03-030	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo placa-alambre	Captura/disposición	95	NA	NA	NA	NA	386,000	291,000	361,000
EPA-452/F-03-031	Reducción selectiva no catalítica (SNRC)	Reducción química	NA	55	NA	NA	NA	6,000	1,074,000	2,000
EPA-452/F-03-032	Reducción catalítica selectiva	Reducción química	NA	80	NA	NA	NA	60,000	6,000	14,000
EPA-452/F-03-033	Recintos totales permanentes	Captura/disposición	NA	NA	100	NA	NA	488,000	12,000	86,000
EPA-452/F-03-034	Desulfuración gas chimenea	Absorción	NA	NA	NA	NA	74	237,000	46,000	77,000

Anexo 4. Características de los sistemas de control de emisiones: requisitos de operación y aplicaciones más comunes.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos		Aplicación
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento		
EPA-452/F-03-004	Filtros de cartucho	Trata también los contaminantes peligrosos del aire en forma particulada, tales como la mayoría de los metales (excepción del mercurio).	≤10 y 2.5	0.1 – 5	95 - 200	1 – 23	NO	Industria de productos de metal; de esmerilado y fresado de pigmento; de productos minerales; manufactura de asfalto y molienda de granos.	
EPA-452/F-03-005	Ciclones	Son conocidos colectivamente como "pre-limpiadores," debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	»10, ≤10 y 2.5	0.5 -12	540	2.3 -230	NO	Operaciones de secado por aspersión en la industria química y de alimentos; en operaciones de trituración, molienda y calcinación en las industrias químicas; en la industria de metales ferrosos y no ferrosos; y en las unidades industriales y comerciales de combustión.	
EPA-452/F-03-006	Elutriadores	Son conocidos colectivamente como "pre-limpiadores," debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	»10	0.25 -4	540	20 – 4500	NO	Los elutriadores se diseñan para aplicaciones específicas, no son adecuados para cumplir regulaciones, se utilizan en procesos de plástico granulado, operaciones metálicas secundarias, procesos agrícolas o de alimentos y en la industria petroquímica.	
EPA-452/F-03-007	Separadores con ayuda mecánica	Son conocidos colectivamente como "pre-limpiadores," debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	8 - 10	0.75 – 10	370	10 – 250	SI	Industria de alimentos, farmacéutica, y labrado de maderas.	
EPA-452/F-03-008	Separadores de momento	Son conocidos colectivamente como "pre-limpiadores," debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	»10	0.5 – 10	540	20 – 4500	NO	Se usan en una amplia variedad de procesos, sin embargo han sido reemplazados por los ciclones.	

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos		Aplicación
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m ³ /seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m ³)	Pretratamiento		
EPA-452/F-03-009	Cámaras de asentamiento	Son conocidos colectivamente como "pre-limpiadores," debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	»10	0.25 - 0.5	540	20 - 4500	NO	Se usan en la industria de refinación de metales, en las plantas generadoras de calor y de electricidad.	
EPA-452/F-03-010	Depurador por condensación	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente "depuradores en húmedo".	0.25 - 10	10	20 - 26		SI	Para uso en el control de las corrientes de gas - residuales que contienen PM (fracción fina).	
EPA-452/F-03-011	Depurador con lecho de fibra	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente "depuradores en húmedo".	0.25	0.5 - 47	60	0.2 - 11	SI	Se usan en el control de emisiones de aerosoles de la industria química, de plásticos, de asfalto, de ácido sulfúrico y de recubrimiento de superficies.	
EPA-452/F-03-012	Depurador placa de impacto/ Torre de bandejas	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente "depuradores en húmedo".	≤10 y 2.5	0.47 - 35	4 - 370		SI	Son utilizados en la industria agrícola, alimenticia y en las fundiciones de acero.	
EPA-452/F-03-013	Depurador con ayuda mecánica	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente "depuradores en húmedo".	≤10 y 2.5	0.47 - 24	150	4.5	SI	Industria de alimentos (cereal, harina, arroz, sal, azúcar, etc.), papel, productos farmacéuticos y químicos; plásticos, tabaco, fibra de vidrio, cerámica y fertilizantes.	

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (μm)	Flujo de aire (m^3/seg)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Carga de contaminante (g/m^3)		
EPA-452/F-03-014	Depurador de orificio	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente "depuradores en húmedo".	≤ 10 y 2.5	0.47 - 24	150	23	SI	Industria de alimentos (cereal, harina, arroz, sal, azúcar, etc.), papel, productos farmacéuticos y químicos, plásticos, caucho, cerámica y fertilizantes.
EPA-452/F-03-015	Depurador con lecho empacado	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente "depuradores en húmedo".	≤ 10 y 2.5	0.25 - 0.35	4 - 38	0.45	SI	Usados en la industria química, de aluminio, coque y aleaciones ferrosas, alimentos, agrícola y cromado por electro-plateado.
EPA-452/F-03-016	Depurador en húmedo	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente "depuradores en húmedo".	≤ 10 y 2.5	0.7 - 47	4 - 370		SI	Son usados para el control de emisiones de la combustión de carbón y aceite provenientes de empresa de servicios públicos eléctricos y de fuentes industriales. En los procesos de las industrias de metales primarios no ferrosos, plantas de ácido sulfúrico o azufre elemental.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente					Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento		
EPA-452/F-03-017	Depurador tipo Venturi	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente "depuradores en húmedo".	≤10 y 2.5	0.2 - 0.47	4 - 400	1 - 115	NO	Controla las emisiones provenientes de las calderas termoeléctricas, industriales, comerciales, e institucionales que son alimentadas con carbón, aceite, madera y residuos líquidos. En industrias químicas, de productos minerales, madera, pulpa y papel, productos de piedra, y manufacturas de asfalto, las industrias de plomo, aluminio, hierro y acero y a los incineradores municipalidades de residuos sólidos.	
EPA-452/F-03-018	Incinerador catalítico	A este tipo de incinerador también se le conoce como oxidador catalítico o reactor catalítico.	10	0.33 - 24	320 - 430		NO	Son utilizados para reducir las emisiones provenientes de una variedad de fuentes estacionarias. Controlan las emisiones de las siguientes fuentes: calderas para la cocción de barnices, hornos para fundición, hornos para el procesamiento de papel filtro, secadoras de barniz, válvulas de purga en la industria manufacturera de químicos orgánicos sintéticos, productos de caucho y manufactura de polímeros y de resinas de polietileno, poliestireno y poliéster.	

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos		Aplicación
			Tamaño de partícula (μm)	Flujo de aire (m^3/seg)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Carga de contaminante (g/m^3)	Pretratamiento		
EPA-452/F-03-019	Antorcha	No elimina los COV de tipo halogenados, puede ser fuente de SO_x , NO_x y CO .	N/A	Depende de las propiedades de la corriente del gas de desecho y de la configuración de la antorcha.	500 - 1100	Dependiendo del tipo de configuración de la antorcha.	SI	Industrias del petróleo, petroquímica, refinerías y química.	
EPA-452/F-03-020	Incinerador tipo recuperativo	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como para PM en fracción fina.	10	0.24 - 24	590 y 650		NO	Son utilizados para reducir las emisiones de las fuentes de COV (respiraderos de reactores, respiraderos de destilación, operaciones con solventes y operaciones realizadas en hornos y secadoras).	
EPA-452/F-03-021	Incinerador tipo regenerativo	A este tipo de incinerador también se le conoce como oxidador térmico regenerativo (OTR) u oxidador catalítico regenerativo (OCR) si se utiliza un catalizador.	N/A	2.4 - 240	760 - 820	100 ppmv	NO	Para reducir las emisiones provenientes de una variedad de fuentes estacionarias. Es aplicable para controlar COV proveniente del manejo de metales y recubrimientos, manufactura de automóviles y manufactura de productos forestales y de madera.	

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (μm)	Flujo de aire (m^3/seg)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Carga de contaminante (g/m^3)		
EPA-452/F-03-022	Incinerador térmico	A este tipo de incinerador también se le conoce como incinerador de llama directa, oxidador térmico, o quemador auxiliar.	hollín	0.24 – 24	590 y 650		NO	Reducen las emisiones provenientes de todas las fuentes de COV (respiraderos de reactores, respiraderos de destilación, operaciones con solventes y operaciones realizadas en hornos y secadoras). Almacenamiento, carga y descarga de productos de petróleo, limpieza de recipientes, válvulas de purga en la industria de manufactura de químicos orgánicos sintéticos, manufactura de pinturas, productos de caucho y manufactura de polímeros, manufactura de madera, operaciones de recubrimiento de superficies, recubrimientos flexibles de vinilo, industria de artes gráficas, instalaciones para el tratamiento, almacenamiento y desecho de residuos tóxicos.
EPA-452/F-03-023	Filtro de aire de alta eficiencia	A este tipo de incinerador también se le conoce como incinerador de llama directa, oxidador térmico, o quemador auxiliar.	≥ 0.12 y 0.3	0.10 - 1.0	93	1 – 30	SI	Son aplicados donde se requieren altas eficiencias de recolección de PM fino, en aplicaciones que involucren PM de origen químico, biológico y radioactivo. Son comúnmente usados en industrias incineradoras de residuos, y en la manufactura de productos farmacéuticos y micro-electrónicos.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (μm)	Flujo de aire (m^3/seg)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Carga de contaminante (g/m^3)		
EPA-452/F-03-024	Filtro (sacudimiento mecánico)	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como fino.	≤ 10 y 2.5	0.1 – 50	260	1 – 23	NO	Los filtros de tela pueden funcionar efectivamente en muchas aplicaciones tales como: calderas de termoeléctricas, procesamiento de metales no ferrosos, procesamiento de metales ferrosos, productos minerales, manufactura de cemento y asfalto, explotación y procesamiento de piedra.
EPA-452/F-03-025	Filtro (chorro pulsante)	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como para PM en su fracción fina.	≤ 10 y 2.5	0.1 – 50	260	1 – 23	NO	Los filtros de tela pueden funcionar muy efectivamente en muchas aplicaciones tales como: calderas de termoeléctricas, calderas industriales y comerciales, procesamiento de metales ferrosos, productos minerales, manufactura de cemento, limpieza de carbón, explotación y procesamiento de piedra, manufactura de asfalto y mollienda de grano.
EPA-452/F-03-026	Filtro (aire invertido)	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como para PM en su fracción fina.	≤ 10 y 2.5	0.1 – 50	260	1 – 23	NO	Los filtros de tela pueden funcionar muy efectivamente en muchas aplicaciones tales como: calderas de termoeléctricas, calderas industriales y comerciales, procesamiento de metales ferrosos, productos minerales, manufactura de cemento, limpieza de carbón, explotación y procesamiento de piedra, manufactura de asfalto y mollienda de grano.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (μm)	Flujo de aire (m^3/seg)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Carga de contaminante (g/m^3)		
EPA-452/F-03-027	Precipitador electrostático seco (PES)- Tipo tubo-alambre	Un PE es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección.	≤ 10 y 2.5	0.5 – 50	700	1 – 10	SI	Se utilizan en la industria textil, papelera y procesos de pulpa de madera, industria metalúrgica, incineradores de residuos peligrosos y producción de ácido sulfúrico.
EPA-452/F-03-028	Precipitador electrostático seco (PES)- tipo placa-alambre	Un PE es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección.	≤ 10 y 2.5	100 – 500	700	2 – 110	SI	Se utilizan en la industria de servicios eléctricos públicos. Son utilizados en industrias papeleras y pulpas de madera, cementera y otros minerales y de metales no ferrosos.
EPA-452/F-03-029	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo tubo-alambre	Un PE es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección.	≤ 10 y 2.5	0.5 – 50	« 80 - 90	1 – 10	SI	Son utilizados en la industria textil, las industrias de productos de la madera, la industria metalúrgica incluyendo los hornos de coque y en plantas de producción de ácido sulfúrico.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (μm)	Flujo de aire (m^3/seg)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Carga de contaminante (g/m^3)		
EPA-452/F-03-030	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo placa-alambre	Un PE es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección.	≤ 10 y 2.5	50 – 250	« 80 - 90	2 – 110	SI	Son utilizados en la manufactura química, procesamiento de metales no ferrosos, procesamiento de materiales ferrosos.
EPA-452/F-03-031	Reducción selectiva no catalítica (SNRC)	Reducción química de un contaminante por medio de un agente reductor.	N/A	N/A	870 -1150	200 - 400 ppm	NO	Calderas de fondo seco, de pared de fuego y de fuego tangencial, unidades de fondo húmedo, de fuego atizado y unidades de lecho fluidizado. Incineradores térmicos, unidades de combustión de residuos sólidos municipales y peligrosos, hornos de cemento, calentadores de procesos y chimeneas de vidrio.
EPA-452/F-03-032	Reducción catalítica selectiva	Reducción química de un contaminante por medio de un agente reductor.	N/A	N/A	250 - 427		SI	Unidades de combustión de combustible fósil, tales como calderas generadoras de electricidad, calderas industriales, calentadores de procesos con turbinas a gas y motores de combustión interna.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos		Aplicación
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento		
EPA-452/F-03-033	Recintos totales Permanentes	Dispositivo de captura -recolección y descarga de los contaminantes hacia un dispositivo de abatimiento tal como un incinerador.	N/A	N/A		No debe exceder los límites permisibles de exposición.	NO	Cualquier proceso u operación donde la captura total de las emisiones es requerida. Son comúnmente usados en impresión, recubrimientos y laminado.	
EPA-452/F-03-034	Desulfurador gas chimenea (DGC)	Dispositivo de control - absorción y reacción usando un reactivo alcalino para producir un compuesto sólido.	N/A	N/A	150 - 370	2000 ppm	SI	Unidades fijas de combustión de carbón y combustóleo tales como las calderas industriales y las utilizadas para la generación de la electricidad, así como otras unidades de combustión industriales, tales como incineradores de residuos municipales y los de residuos hospitalarios, hornos para cal y cemento, fundidoras de metal, refineries de petróleo, hornos para vidrio y plantas de manufactura de ácido sulfúrico. Aproximadamente el 85% de los sistemas de DGC instalados en los EEUU son sistemas húmedos, 12% son de aspersión en seco y 3% son sistemas secos.	

Anexo 5. Características de los sistemas de control de emisiones: ventajas y desventajas.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-004	Filtros de cartucho	La eficiencia aumenta si aumenta la velocidad de filtración y el tamaño de partícula. Los factores que determinan la eficiencia de recolección de los filtros de cartucho son la velocidad de filtración, las características de las partículas, las características del medio filtrante y el mecanismo de limpieza.	Proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como para fino. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. El aire de salida del filtro está muy limpio y en muchos casos puede ser recirculado a la planta. No presenta problemas la corrosión ni la oxidación de los componentes. La operación es relativamente simple. No requieren de altos voltajes.	Para temperaturas muy por encima de los 95°C (200°F), se requieren medios filtrantes especiales. Tienen requisitos de mantenimiento relativamente alto. La vida de los filtros puede ser reducida a altas temperaturas y en presencia de constituyentes ácidos o alcalinos que puedan estar presentes como gases o partículas. Los filtros de cartucho no pueden operarse en ambientes húmedos.
EPA-452/F-03-005	Ciclones	La eficiencia de los ciclones aumenta con el tamaño de la partícula (densidad), la velocidad en el conducto de la entrada, longitud y diámetro del cuerpo del ciclón, del diámetro del conducto de salida del gas, la carga del polvo y el pulimento de la superficie de la pared interior del ciclón. Los ciclones trabajan más eficientemente con cargas de contaminantes más altas, siempre y cuando no se obstruyan.	Bajos costos de capital. Bajos requerimientos de mantenimiento. Caída de presión relativamente baja. Limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.	Eficiencias de colección de PM relativamente bajas. No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes. Las unidades de alta eficiencia pueden tener altas caídas de presión.
EPA-452/F-03-006	Elutriadores	La eficiencia de remoción aumenta con el tamaño de la partícula (densidad), disminución de la velocidad de flujo y número de tubos verticales o torres. Los elutriadores se diseñan para remover partículas de tamaño $\gg 10 \mu\text{m}$, la eficiencia de recolección para PM_{10} es muy baja, menor del 10%. La entrada del aire frío al elutriador puede causar condensación y por ende corroe el material del mismo, esto genera acumulación del polvo y obstrucción de la tolva.	Bajos costos de capital, de energía y bajos requerimientos de operación. Falta de partes móviles. Excelente funcionamiento. Baja caída de presión. Bajas velocidades del gas. Proporciona enfriamiento de la corriente de gas. Las limitaciones de la temperatura y presión son dependientes únicamente de los materiales de construcción. Colección y disposición en seco.	Eficiencias de colección de PM relativamente bajas. Inadecuado para materiales pegajosos o aglutinantes. Gran tamaño físico.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-007	Separadores con ayuda mecánica	Tienen un gran consumo de energía lo cual incrementa los costos de operación, requiere un dispendioso mantenimiento, no puede manejar flujos pegajosos o aglutinantes y están más sujetos a la abrasión. Es posible que ya no se fabriquen.	Diseño compacto y requerimientos de espacios pequeños. Mayores eficiencias en la recolección de pequeñas partículas que las de los otros diseños de prelimpiadores. Recolección y disposición en seco y no requieren mucho espacio.	Mayores requerimientos de energía y costos de operación que los otros diseños de prelimpiadores. Mayores requerimientos de mantenimiento. No pueden manejar materiales pegajosos o aglutinantes. Están más sujetos a la abrasión que otros prelimpiadores.
EPA-452/F-03-008	Separadores de momento	La eficiencia aumenta cuando aumenta el tamaño de diámetro de la partícula (densidad), la velocidad de la corriente del gas y el número de vueltas de los deflectores. La entrada de aire frío puede causar condensación y esto a su vez puede ocasionar corrosión, lo que genera la acumulación de partículas y la obstrucción de la tolva.	Bajos costos de capital. Bajos costos de operación. Requiere menos espacio que otros sistemas. Caídas de presión bajas. Limitaciones de T y P en los materiales de construcción. Recolección y disposición en seco	Eficiencias de recolección de PM bajas. Incapaz de manejar materiales peligrosos y pegajoso.
EPA-452/F-03-009	Cámaras de asentamiento	Las cámaras de asentamiento han sido reemplazadas por ciclones y las cámaras de asentamiento de bandejas múltiples nunca han sido ampliamente usadas.	Bajos costos de capital. Costos bajos de energía. Bajos costos de operación. Excelente funcionamiento. Baja caída de presión. No está sujeto a la abrasión. Enfría la corriente de gas. Recolección y disposición en seco. Los materiales de construcción dependen de las T° y P que se manejen.	Eficiencias de recolección de PM bajas. No puede manejar materiales pegajosos, ni aglutinantes. Ocupan mucho espacio. Las bandejas de las cámaras de bandejas múltiples se pueden deformar a altas temperaturas.
EPA-452/F-03-010	Depurador por Condensación	Estos sistemas no están disponibles comercialmente. Requiere un eliminador de neblina. El gas de desecho generalmente debe ser enfriado para que alcance condiciones de saturación.	Capacidad para reducir emisión de partículas finas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Los gases y polvos corrosivos pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento. El gas de salida puede requerir recalentamiento para evitar pluma visible. El material particulado recolectado puede estar contaminado y puede ser no reciclable. La disposición del residuo puede ser costosa.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-011	Depurador con lecho de fibra	Las corrientes del gas a menudo deben enfriarse para entrar a los depuradores con lecho de fibra.	Capacidad para reducir partículas finas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Los gases y polvos corrosivos pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento.
EPA-452/F-03-012	Depurador placa de impacto/ Torre de bandejas	No son recomendables para reducir PM fino.	Capacidad de manejar polvos inflamables y explosivos. Proveen adsorción de gases y recolección de polvo en una sola unidad. Pueden manejar neblinas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Proveen enfriamiento a los gases calientes. Los gases corrosivos y polvos pueden ser neutralizados. Mejoran el contacto entre el gas y una pasta aguada para la remoción de SO ₂ .	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento. El material particulado recolectado puede estar contaminado y puede ser no reciclable.
EPA-452/F-03-013	Depurador con ayuda mecánica	El empleo de los depuradores con ayuda mecánica se ve limitado por el alto mantenimiento que estos equipos requieren.	Capacidad de manejar polvos inflamables y explosivos. Puede tratar neblinas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Debe tener un sistema de enfriamiento para los gases calientes. Los gases corrosivos y polvo pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento. El PM recolectado puede estar contaminado y puede no ser reciclable. La disposición de residuos puede ser muy costosa. La acumulación de polvo puede provocar un desequilibrio. Las partículas pueden raspar los rotores.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-014	Depurador de orificio	Los depuradores en húmedo generan residuos en forma de una pasta aguada que requiere un tratamiento tanto de aguas residuales como de disposición de residuos sólidos.	Capacidad de manejar polvos inflamables y explosivos. Puede tratar neblinas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Debe tener un sistema de enfriamiento para los gases calientes. Los gases corrosivos y polvo pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento. El material particulado recolectado puede estar contaminado y puede ser no reciclable. La disposición final de los residuos puede ser costosa.
EPA-452/F-03-015	Depurador con lecho empacado	En un depurador de lecho empacado las concentraciones altas de PM pueden obstruir el lecho, esta es una limitación de estos dispositivos al uso de corrientes con cargas de polvo bajas. Para el tratamiento de PM se requiere un dispendioso mantenimiento.	Requiere una caída de presión baja. La construcción en plástico reforzado con fibra de vidrio permite su operación en atmósferas corrosivas. Capaz de lograr eficiencias de transferencia de masa altas. La altura y/o tipo de empaque pueden ser cambiados para mejorar la transferencia de masa sin la adquisición de equipo nuevo. Bajo costo de capital. Requisitos de espacio bajos. Capacidad de reducir tanto partículas como gases.	Puede crear problemas por desechos de agua (o líquidos). El producto residual se recolecta en húmedo. El PM puede causar la obstrucción de los lechos o placas. Su uso es sensible a la temperatura. Costos de mantenimiento altos.
EPA-452/F-03-016	Depurador en húmedo		Requiere una caída de presión baja. La construcción en plástico reforzado con fibra de vidrio permite su operación en atmósferas corrosivas. Capaz de lograr eficiencias de transferencia de masa altas. La altura y/o tipo de empaque pueden ser cambiados para mejorar la transferencia de masa sin la adquisición de equipo nuevo. Bajo costo de capital. Requisitos de espacio bajos. Capacidad de reducir tanto partículas como gases.	Puede crear problemas por desechos de agua (o líquidos). El producto residual se recolecta en húmedo. Es ineficiente para remover PM fino. Su uso es sensible a la temperatura. Costos de mantenimiento altos. Eficiencias de transferencia de masa bajas.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-017	Depurador tipo Venturi	Son aplicables para controlar las fuentes de emisiones con altas concentraciones de PM de tamaño menor a una micra. Cuando el gas de desecho contiene partículas y gases, los depuradores venturi son utilizados como un dispositivo de pre-tratamiento.	Pueden manejar polvos inflamables y explosivos. Pueden tratar neblinas. Requiere un mantenimiento bajo. Simple diseño y fáciles de instalar. La eficiencia de recolección puede ser variada. Proporcionan enfriamiento para los gases calientes. Los gases corrosivos y polvos pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede crear problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de problemas de corrosión. Se requiere protección de congelamiento. El PM recolectado puede estar contaminado y puede no ser reciclado. Tratamiento de los desechos del lodo residual puede ser muy costoso.
EPA-452/F-03-018	Incinerador catalítico	Las características de la corriente de entrada deben ser evaluadas ya que el catalizador se puede desactivar.	Menores requisitos de combustible. Menores temperaturas de operación. Pocos o ningún requisito de aislamiento. Peligros de incendio reducidos. Menor volumen/tamaño requerido.	Costo inicial alto. Es posible el envenenamiento del catalizador. El catalizador usado que no puede ser regenerado puede requerir ser desechado.
EPA-452/F-03-019	Antorcha	La corriente de gas de desecho debe poseer un valor de calentamiento mayor de 11 MJ/m ³ . Si este mínimo no es cubierto por el gas de desecho se debe introducir un gas auxiliar que complete la diferencia.	Pueden ser una manera económica de tratar descargas repentinas de cantidades grandes de gas. En muchos casos no requieren un combustible auxiliar para sostener la combustión y pueden ser utilizadas para controlar las corrientes de desecho intermitentes.	Pueden producir ruido, radiación solar de calor y luz indeseables. Pueden ser una fuente de SO _x , NO _x y CO. No pueden ser utilizados para tratar corrientes de desecho con compuestos halogenados y se pierde el calor liberado proveniente de la combustión.
EPA-452/F-03-020	Incinerador tipo recuperativo	La eficiencia de destrucción de COV depende de los criterios de diseño (temperatura de cámara entre 870 y 1100 °C), el tiempo de residencia (0.75 seg.), la concentración de COV en la entrada, el tipo de compuesto y el grado de mezclado.	Los incineradores son uno de los métodos más positivos y comprobados para destruir COV, son más económicos que los incineradores térmicos, ya que recuperan el 70% del calor y pueden ser usados para precalentar los gases de entrada.	Los costos de un incinerador son altos debido al costo de combustible adicional. No están bien indicados para corrientes que tiene un flujo altamente variable debido al tiempo reducido de residencia y al mezclado deficiente, lo cual causa disminución de la temperatura de las cámaras de combustión.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-021	Incinerador tipo regenerativo	Para usar un oxidador catalítico regenerativo siempre se debe remover antes el PM, ya que si no se hace puede ocasionar la desactivación del catalizador.	Requieren menos combustible debido a la alta recuperación de energía. Capacidad para altas temperaturas (hasta 1100 °C). Menos susceptibles a problemas con compuestos clorados. Emisiones de NOx generalmente bajas. Requisitos más bajos de combustible que los sistemas debido a que requiere menor temperatura. El catalizador también destruye CO en la corriente de desecho y emisiones de NOx menores a los de otros sistemas.	Alto costo inicial. Instalación difícil y costosa. Gran peso y tamaño y alta demanda de mantenimiento para las partes en movimiento y el monitoreo del catalizador. El envenenamiento del catalizador es posible, los catalizadores de metales preciosos son más resistentes. El catalizador gastado que no puede ser regenerado puede necesitar ser desechado.
EPA-452/F-03-022	Incinerador térmico		Los incineradores son uno de los mejores métodos y de los más utilizados para destruir COV.	Los costos de operación son altos debido a los costos del combustible adicional. No son recomendados para corrientes con flujo variable debido al tiempo reducido de residencia y al mezclado deficiente que ocasionan la reducción en la temperatura en las cámaras de combustión.
EPA-452/F-03-023	Filtro de aire de alta eficiencia	Acepta humedad hasta el 95%. Estos filtros requieren concentraciones de polvo mayores a 0.03 gramos/cm ² . Son útiles para recolectar partículas cuya resistividad sea baja o alta para ser recolectadas por precipitadores electrostáticos.	Estos filtros son usados específicamente para la recolección de PM fino con altas eficiencias de recolección. Son mejor utilizados en aplicaciones con bajas proporciones de flujo y bajas concentraciones del contaminante. No requieren del uso de alto voltaje. Pueden recolectar polvos inflamables.	Requieren que se mantenga integridad de los sellos del filtro. El medio filtrante está sujeto a daños físicos por los esfuerzos mecánicos. La concentración de algunos polvos eventualmente puede representar un peligro de explosión si accidentalmente se produce una chispa. La vida de los filtros puede acortarse en presencia de altas temperaturas, con compuestos ácidos o alcalinos en el gas, con presencia de altas cargas. No pueden operarse en ambientes húmedos.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-024	Filtro (sacudimiento mecánico)	Para el diseño debe considerarse el contenido de humedad y de corrosivos de la corriente gaseosa.	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias tanto para partículas de tamaño grande como fino. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. El aire de la salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado.	Para temperaturas muy por encima de los 290 °C, se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario. Requiere telas tratadas para reducir la percolación. Las concentraciones de los polvos en el colector pueden representar un peligro de explosión, si se presenta una chispa accidentalmente cerca a éstos. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. La vida de la tela puede ser reducida a temperaturas altas y en presencia de constituyentes gaseosos o partículas ácidas o alcalinas. No pueden ser operados en ambientes húmedos.
EPA-452/F-03-025	Filtro (chorro pulsante)	Para el diseño debe considerarse el contenido de humedad y de corrosivos de la corriente gaseosa. Pueden ser buenos para recolectar las cenizas de los carbones bajos en azufre o de la ceniza que contenga altos niveles de carbón sin quemar.	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias tanto para partículas de tamaño grande como fino. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. El aire de la salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado.	Para temperaturas muy por encima de los 290 °C, se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario. Requiere telas tratadas para reducir la percolación. Las concentraciones de los polvos en el colector pueden representar un peligro de explosión, si se presenta una chispa accidentalmente cerca a éstos. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. La vida de la tela puede ser reducida a temperaturas altas y en presencia de constituyentes gaseosos o partículas ácidas o alcalinas. No pueden ser operados en ambientes húmedos.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-026	Filtro (aire invertido)	Para el diseño deben considerarse el contenido de humedad y de corrosivos de la corriente gaseosa. Pueden ser buenos para recolectar las cenizas de los carbones bajos en azufre o de la ceniza que contenga altos niveles de carbón sin quemar. Los filtros de tela son útiles para recolectar partículas con resistividades demasiado bajas o altas como para ser recolectadas por un precipitador electrostático.	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias tanto para partículas de tamaño grande como fino. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. El aire de la salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado.	Para temperaturas muy por encima de los 290 °C, se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario. Requiere telas tratadas para reducir la percolación. Las concentraciones de los polvos en el colector pueden representar un peligro de explosión, si se presenta una chispa accidentalmente cerca a éstos. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. La vida de la tela puede ser reducida a temperaturas altas y en presencia de constituyentes gaseosos o partículas ácidas o alcalinos. No pueden ser operados en ambientes húmedos.
EPA-452/F-03-027	Precipitador electrostático seco (PES) - Tipo tubo-alambre	Operan más eficientemente con resistividades de polvo entre 5×10^3 - 2×10^{10} ohm-cm. Las partículas más difíciles de recolectar son aquellas de diámetros aerodinámicos entre 0.1 y 1 μm . Las partículas entre 0.2 - 0.4 μm por lo general presentan la mayor penetración.	Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas aún con partículas muy pequeñas. Pueden ser diseñadas para un rango amplio de temperaturas hasta de 700 °C. Los costos de operación son relativamente bajos. Las velocidades de flujo son relativamente grandes.	Los costos de capital generalmente son altos. Los electrodos requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por efecto de fugas de gas y la condensación ácida.
EPA-452/F-03-028	Precipitador electrostático seco (PES) - tipo placa-alambre	Operan más eficientemente con resistividades de polvo entre 5×10^3 - 2×10^{10} ohm-cm. Las partículas más difíciles de recolectar son aquellas de diámetros aerodinámicos entre 0.1 y 1 μm . Las partículas entre 0.2 - 0.4 μm por lo general presentan la mayor penetración.	Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas aún con partículas muy pequeñas. Pueden ser diseñadas para un rango amplio de temperaturas hasta de 700 °C. Los costos de operación son relativamente bajos. Las velocidades de flujo son relativamente grandes.	Los costos de capital generalmente son altos. Los electrodos requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por efecto de fugas de gas y la condensación ácida.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-029	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo tubo-alambre	La resistividad del polvo no es un factor limitante para los precipitadores electrostáticos húmedos. Se pueden recolectar eficientemente partículas mucho más pequeñas debido a que la resistividad no importa.	Tiene caídas de presión muy pequeñas. Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas, aún con partículas muy pequeñas. Se pueden recolectar partículas pegajosas y neblinas, así como polvos explosivos o con alta resistividad. Reducir las fugas al pasar todo el caudal gaseoso a través del campo de recolección y la capacidad de estar sellada herméticamente, para prevenir fugas de materiales especialmente valiosos o peligrosos.	Los costos de capital generalmente son altos. Los electrodos requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por efecto de fugas de gas y la condensación ácida.
EPA-452/F-03-030	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo placa-alambre	La resistividad del polvo no es un factor limitante para los precipitadores electrostáticos húmedos. Se pueden recolectar eficientemente partículas mucho más pequeñas debido a que la resistividad no importa.	Tienen caídas de presión muy pequeñas, los requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos. Los costos de operación son relativamente bajos.	Los costos de capital generalmente son altos. Los electrodos requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por efecto de fugas de gas y la condensación ácida.
EPA-452/F-03-031	Reducción selectiva no catalítica (SNRC)	El óxido nítrico es un subproducto formado durante la SNCR. La reducción con base de urea genera más N ₂ O que los sistemas de base en amoníaco. El óxido nítrico no contribuye a la formación de ozono ni de ácido a nivel del suelo.	Los costos de capital y de operación están entre los más bajos entre todos los métodos de reducción de NO _x . La reducción de la SNCR es relativamente simple y requiere poco tiempo de "descanso" en unidades grandes y medianas.	La corriente de gas debe estar dentro de un rango de temperatura específico. No es aplicable a fuentes con bajas concentraciones de NO _x tales como las turbinas de gas. Se obtienen menores reducciones de NO _x que con la reducción selectiva catalítica (SCR). Puede requerir limpieza del equipo corriente abajo. Producción de amoníaco en la corriente del gas residual.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-032	Reducción catalítica selectiva	La optimización del proceso después de la instalación puede disminuir los niveles de escape de amoníaco que se produce en este proceso. Las emisiones de gas de combustión con altos niveles de PM pueden requerir un soplador de hollín con el fin de reducir la deposición de PM en el catalizador. También reduce el ensuciamiento del equipo corriente abajo a causa de los sulfatos de amoníaco. La presión del gas residual disminuye significativamente mientras fluye a través del catalizador.	Reducciones más altas de NOx en comparación a los quemadores de bajo NOx y la reducción selectiva no catalítica. Es aplicable a fuentes con bajas concentraciones de NOx. Las reacciones ocurren dentro de un rango de temperatura más bajo y más amplio que en la SNCR. No requiere modificaciones a la unidad de combustión.	Costos de capital y de operación significativamente más altos que los quemadores de bajo NOx y la SNCR. La reconversión de la SCR en calderas industriales es difícil y costosa. Se requieren grandes cantidades de reactor y catalizador. Puede requerir limpieza del equipo corriente abajo. Producción de amoníaco en la corriente del gas residual.
EPA-452/F-03-033	Recintos totales Permanentes (RTP)	La concentración de los contaminantes dentro del recinto puede variar por factores de 1 para sistemas de ventilación bien diseñados a 10 para sistemas mal diseñados.	Construcción simple. Captura de 100 por ciento. Una vez el diseño es aprobado, no se necesitan pruebas de eficiencia de captura.	Difícil proveer comodidad al trabajar y cumplir con las normas OSHA. Puede requerir aire adicional para evitar la acumulación considerable de calor. Una vez que el RTP ha sido construido, es difícil modificar la configuración del proceso. El RTP es solamente un dispositivo de captura, la cantidad de contaminante removido depende del dispositivo de abatimiento instalado.
EPA-452/F-03-034	Desulfuración gas chimenea	La cantidad de cloro en el gas de combustión afecta la cantidad de agua evaporada por el sistema debido a la formación de sales. El contenido de cloro mejora la remoción de SO ₂ , pero también resulta en la deposición de sales en el absorbedor y en el equipo corriente abajo. Puede requerirse un ventilador de tiro inducido o uno adicional para compensar la caída de presión a través del absorbedor.	Altas eficiencias de remoción de SO ₂ de 50% hasta 98%. Los productos de la reacción pueden ser reutilizables. La dificultad de reconversión es moderada o baja. Los reactivos son económicos y están fácilmente disponibles.	Altos costos capitales y de operación y mantenimiento. Incrustación y deposición de sólidos húmedos en el absorbedor y en el equipo corriente abajo. Los sistemas húmedos generan un producto de desecho húmedo y pueden causar una pluma visible. No pueden ser usados para concentraciones de O ₃ en gases residuales mayores a 2000 ppm. La disposición de los residuos aumenta significativamente los costos de operación y mantenimiento.

