



ESTRATEGIAS AMBIENTALES INTEGRADAS

PROYECTO:

PARA IMPLEMENTAR LOS INSTRUMENTOS DE GESTIÓN FORMULADOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ, Y HACER SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN A SU EFECTIVIDAD

CA 529 de 2011 – Acta 5

DOCUMENTO DEL PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE - PIGECA

Entregable 7

Documento final del PIGECA

Washington D.C., agosto 2017



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (PIGECA 2017-2030)

ENTIDADES PARTICIPANTES

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

Director: Eugenio Prieto Soto

Subdirectora Ambiental: María del Pilar Restrepo Mesa

Subdirectora de Movilidad: Viviana Tobón Jaramillo

Subdirector de Planeación: Víctor Piedrahíta Robledo

Supervisión: Gloria Estela Ramírez Casas

Apoyo a la supervisión: Natalia Andrea Restrepo Vélez

CLEAN AIR INSTITUTE

Director: Sergio Sánchez

Equipo de trabajo:

Juliana Klakamp

Juan José Castillo

Joanne Green

Ramiro Barrios

Alberto Cruzado

Armando Retama

Liseth Galeano

Carolina Isaza

Adriana Castrillón

María Teresa Rojas

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

María Victoria Toro Gómez

Oscar Fabián Arcos

Marcela Quiceno

María Isabel González



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	3
ANEXOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
PRESENTACIÓN	13
INTRODUCCIÓN	14
1 LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE: UN PROBLEMA MUNDIAL	19
CONTEXTO	19
FACTORES SINÉRGICOS QUE DETERMINAN LAS ACTUALES CONDICIONES DE CALIDAD DEL AIRE	21
ANTECEDENTES Y MEDIDAS EN EL MUNDO	27
LA SALUD COMO EL CENTRO DEL PROBLEMA Y LAS DECISIONES MUNDIALES	31
ACUERDOS MUNDIALES SOBRE MEDIO AMBIENTE	36
RESOLUCIONES INTERNACIONALES ESPECÍFICAS EN MATERIA DE CALIDAD DEL AIRE	41
ORDENAMIENTO AMBIENTAL TERRITORIAL Y LA CALIDAD DEL AIRE EN LAS CIUDADES	42
2 EMISIONES A LA ATMÓSFERA: SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAS	45
FUERZAS MOTRICES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ	45
EMISIONES A LA ATMÓSFERA	67
3 CALIDAD DEL AIRE: ESTADO Y TENDENCIAS DE LA CALIDAD DEL AIRE	99
CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS	100
MONITOREO ATMOSFÉRICO	102
CONDICIONES METEOROLÓGICAS	107
COMPORTAMIENTO HISTÓRICO Y TENDENCIAS DE CALIDAD DEL AIRE	119
4 IMPACTOS A LA SALUD Y EXTERNALIDADES	150
PANORAMA GENERAL	150
CARGA DE ENFERMEDAD ATRIBUIBLE A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE	154



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



OTRAS EXTERNALIDADES.....	158
5 POLÍTICAS, PROGRAMAS Y ACCIONES	162
CONTEXTO DE LAS POLÍTICAS DE CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA.....	162
ANTECEDENTES DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ.....	167
IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO	169
ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES	170
PACTO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ 2007	170
PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DEL AIRE DEL VALLE DE ABURRÁ 2010	172
OTROS PLANES Y PROGRAMAS EN MARCHA	176
6 OBJETIVOS, METAS Y EJES ESTRATÉGICOS.....	183
MARCO DE REFERENCIA.....	186
OBJETIVOS	188
METAS	190
ESTRUCTURA DEL PIGECA	195
EJES TRANSVERSALES DEL PIGECA.....	196
LÍNEAS DE ACCIÓN DE LOS EJES TEMÁTICOS	202
RESUMEN DE MEDIDAS DEL PIGECA.....	256
7 ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL PLAN.....	265
ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES POR LA IMPLEMENTACIÓN DEL PIGECA	265
ESTIMACIÓN DE LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE	292
EVALUACIÓN DE IMPACTOS SOBRE LA SALUD	296
VALORACIÓN ECONÓMICA DE BENEFICIOS.....	299
8 REFERENCIAS.....	301

ANEXOS

Anexo 1. Procesos de Participación en la Formulación del PIGECA.

Anexo 2. Fichas de Medidas del PIGECA.

Anexo 3. Memorias de Cálculo de la Implementación de Medidas.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario de emisiones agregado	71
Tabla 2. Inventario de emisiones por consolidad por sector. Año base 2015	72
Tabla 3. Distribución porcentual del inventario de emisiones consolidado por sector. Año base: 2015 ..	73
Tabla 4. Emisiones del transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá – 2015. Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017)	89
Tabla 5. Emisiones del transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá – 2015 según tipo de combustible. Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017).....	90
Tabla 6. Participación por corredor en las emisiones en hora pico*. Fuente: Estrategia Ambiental Integrada CAI - Área Metropolitana del Valle de Aburrá 2013.....	92
Tabla 7. Equipamiento de las estaciones de monitoreo durante 2016	103
Tabla 8. Tipo de estación de acuerdo a la clasificación de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire	105
Tabla 9. Normatividad colombiana de niveles máximos permisibles para contaminantes criterio (Resolución 610 de 2010) comparada con las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud.....	121
Tabla 10. Evaluación del cumplimiento de las normas colombianas y OMS - 2015.....	123
Tabla 11. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia	148
Tabla 12. Niveles de contingencia atmosférica para el Valle de Aburrá.....	149
Tabla 13. Resumen general de características y efectos a la salud de los contaminantes atmosféricos.	153
Tabla 14. Carga de Mortalidad. Área Metropolitana del Valle de Aburrá	156
Tabla 15. Comparativo Evaluaciones PIGECA y DNP	157
Tabla 16. Marco normativo para la gestión de la calidad del aire en Colombia.....	163
Tabla 17. Documentos CONPES relacionados con la gestión de la Calidad del Aire	165
Tabla 18. Avances en la gestión de la calidad del aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá	168
Tabla 19. Líneas estratégicas del Plan de Gestión del 2012-2015	177
Tabla 20. Criterios para la definición de metas de calidad del aire para PM _{2,5} , PM ₁₀ y Ozono	190
Tabla 21. Metas intermedias de concentración para PM _{2,5} , PM ₁₀ y Ozono.....	191
Tabla 22. Metas de reducción de emisiones de PM _{2,5} por la implementación del PIGECA (2016 – 2030) (toneladas frente a la línea base).....	194



Tabla 23. Costos de reducción y potencial de reducción de emisiones de PM _{2.5} de las medidas propuestas	255
Tabla 24. Metas de Reducción de emisiones de PM _{2.5} por la implementación del Plan (2016 – 2030) (toneladas frente a la línea base).....	277
Tabla 25. Metas de reducción de emisiones de NOx por la implementación del Plan (2016 – 2030) – toneladas frente al año base	278
Tabla 26. Metas de reducción de emisiones de SO ₂ por la implementación del Plan (2016 – 2030) – Toneladas frente al año base.....	279
Tabla 27. Metas de Reducción de emisiones de VOC por la implementación del Plan (2016 – 2030) – toneladas frente al año base.	280
Tabla 28. Metas de reducción de emisiones de Carbono Negro por la implementación del Plan (2016 – 2030) – Toneladas frente al año base.....	281
Tabla 29. Resumen de acciones por categoría para la reducción de emisiones del sector transporte....	284
Tabla 30. Metas de emisión de PM _{2.5} para las categorías del transporte – Plan.....	287
Tabla 31. Acciones sectoriales identificadas para la reducción de emisiones del sector industria, comercio y servicios.....	290
Tabla 32. Metas de emisión para los sectores industriales – PIGECA	291
Tabla 33. Carga de mortalidad por la implementación del PIGECA.....	298
Tabla 34. Beneficios en salud de la implementación del PIGECA. Análisis acumulativo para el período 2017-2030	299
Tabla 35. Valoración económica de beneficios en salud por la implementación del Plan. (Millones de pesos colombianos)	299
Tabla 36. Valoración económica de la reducción de la carga de mortalidad para el año 2030 por la implementación del PIGECA. Precios Constantes de 2017. Millones de pesos.....	300



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La ciudad en la era de la Revolución Industrial.....	21
Figura 2. Factores que influyen en la calidad del aire.....	22
Figura 3. Comparativo de la matriz energética de AL vs. el mundo para el 2010	23
Figura 4. Consumo de barriles de petróleo por día a nivel mundial a 2010.....	24
Figura 5. Población urbana por continentes comparativo de crecimiento entre 1990, 2014 y 2050.....	25
Figura 6. Infograma de la campaña ‘Respira la vida’, sobre los impactos mundiales de la contaminación atmosférica (OMS-CCAC, 2017). http://breathelife2030.org/news/infographic-library/	34
Figura 7. Infograma de la campaña ‘Respira la vida’, sobre los impactos mundiales de la contaminación atmosférica’ (OMS-CCAC, 2017)	35
Figura 8. Mapa de Valle de Aburrá y los municipios que la conforman	47
Figura 9. Área Metropolitana del Valle de Aburrá: proyecciones de población total, 1985 – 2030	49
Figura 10. Área Metropolitana del Valle de Aburrá: contornos de crecimiento, 2010 – 2030 (en porcentajes).....	49
Figura 11. Empresas por tamaño en el Valle de Aburrá	51
Figura 12. Demanda energética por categoría vehicular, tamaño y combustible, año 2013.....	54
Figura 13. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2015	55
Figura 14. Distribución de la demanda energética (TJ/año) de las fuentes fijas del Valle de Aburrá, año 2014	55
Figura 15. Demanda Energética por Sector Industrial (TJ/año), año 2014.....	56
Figura 16. Distribución modal de los viajes en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá	58
Figura 17. Tiempos de viaje para el Valle de Aburrá	58
Figura 18. Kilometraje promedio anual recorrido por los vehículos en el Valle de Aburrá.....	59
Figura 19. Composición del parque automotor del Valle de Aburrá, año 2015	60
Figura 20. Parque automotor en hogares por comunas y Municipios	61
Figura 21. Crecimiento anual proyectado de la flota vehicular 2013-2022.....	62
Figura 22. Porcentaje de viajes por modo de transporte. Escenario con Implementación de todos los planes y proyectos previstos – optimista	63
Figura 23. Tipos de vehículos utilizados para movilizar carga	64
Figura 24. Edad de la flota de transporte de carga en el Valle de Aburrá	65



Figura 25. Contaminantes Atmosféricos: fuentes, procesos y efectos.....	69
Figura 26. Distribución porcentual de emisiones. Inventario de Emisiones Atmosféricas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá	71
Figura 27. Número de empresas y equipos/fuentes por Municipio en el Valle de Aburrá	75
Figura 28. Número de empresas y equipos/fuentes por sector industrial (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017)	76
Figura 29. Distribución de emisiones por tipo de combustible	77
Figura 30. Distribución sectorial de emisiones industriales.....	78
Figura 31. Distribución espacial de emisiones industriales de PM _{2.5} en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015	79
Figura 32. Emisiones sectoriales de PM _{2.5} – Año base 2015	80
Figura 33. Emisiones sectoriales de PM ₁₀ – Año base 2014	80
Figura 34. Distribución espacial de emisiones industriales de SO _x en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015	81
Figura 35. Emisiones sectoriales de SO ₂ – Año base 2015.....	82
Figura 36. Distribución espacial de emisiones industriales de NO _x en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015.....	83
Figura 37. Emisiones sectoriales de NO _x – Año Base 2015	84
Figura 38. Distribución espacial de emisiones industriales de VOC en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015	85
Figura 39. Emisiones sectoriales de VOC – Año base 2015	86
Figura 40. Distribución espacial de emisiones industriales de CO en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015	87
Figura 41. Emisiones sectoriales de CO – Año Base 2015.....	87
Figura 42. Distribución porcentual de emisiones por categoría vehicular – Año Base 2015	89
Figura 43. Distribución porcentual de emisiones por tipo de combustible – Año base 2015.....	90
Figura 44. Patrón de distribución espacial de emisiones del transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015.....	91
Figura 45. Emisiones de PM _{2.5} primario por categoría de transporte – Año base 2015.....	93
Figura 46. Emisiones de SO _x por categoría de transporte – Año base 2015.....	94
Figura 47. Emisiones de NO _x por categoría de transporte – Año base 2015.....	95
Figura 48. Emisiones de VOC por categoría de transporte – Año base 2015	96
Figura 49. Emisiones de BC por categoría de transporte – Año base 2015.....	97



Figura 50. Distribución porcentual de emisiones de VOC por Fuente de Área	98
Figura 51. Características del relieve topográfico del Valle de Aburrá.....	101
Figura 52. Comparación gráfica de las dimensiones de las cuencas atmosféricas en el Valle del Cauca, Medellín y Sabana de Bogotá	102
Figura 53. Ubicación de las estaciones automáticas de monitoreo de calidad del aire en el Valle de Aburrá	107
Figura 54. Temperatura media horaria, diaria y semanal en el Valle de Aburrá para el año 2015	108
Figura 55. Temperatura media mensual en el Valle de Aburrá para el año 2015	109
Figura 56. Variación de la velocidad del viento reportada por las estaciones centrales de la red de monitoreo del aire para el año 2015	111
Figura 57. Velocidad del viento promedio y máxima para el año 2015	111
Figura 58. Velocidad del viento promedio mensual estaciones de monitoreo de la calidad del aire para el año 2015	112
Figura 59. Rosas de viento de las horas del día (izquierda) y la noche (derecha) para el año 2015	113
Figura 60. Días de precipitación por mes para el año 2015.....	115
Figura 61. Acumulado de precipitación por mes para el año 2015	115
Figura 62. Presión atmosférica promedio mensual para el año 2015.....	117
Figura 63. Humedad relativa promedio mensual para el año 2015	118
Figura 64. Radiación solar promedio mensual para el año 2015.....	119
Figura 65. Excedencias a las normas de ozono 2013 – 2015.....	125
Figura 66. Superaciones de las normas sobre el PM ₁₀ – OMS y la Norma Colombiana (2010-2015).....	126
Figura 67. Superaciones de las normas sobre el PM _{2.5} – OMS y la Norma Colombiana.....	127
Figura 68. Tendencia en el promedio mensual de concentraciones de ozono – año 2012-2015	129
Figura 69. Variación temporal de ozono en la estación de monitoreo Concejo de Itagüí promediada para el período 2013 a 2015	130
Figura 70. Variación temporal de ozono en la estación de monitoreo Corporación Universitaria Lasallista promediada para el período 2013 a 2015	130
Figura 71. Concentraciones de ozono por hora del día, y mes del año en las estaciones Concejo de Itagüí y Corporación Universitaria Lasallista.....	131
Figura 72. Gráficos polar anuales por hora para ozono – Concejo de Itagüí, 2013 - 2015.....	132
Figura 73. Gráficos polar anuales por hora para ozono – Corporación Universitaria Lasallista, 2013 - 2015	133
Figura 74. Promedio Anual de Concentración de PM ₁₀ por estación 2008-2015	133

Figura 75. Variación temporal de PM ₁₀ en la estación de monitoreo Plaza de Mercado Coperplaza promediada para el período 2013 a 2015	134
Figura 76. Variación temporal de PM ₁₀ en la estación de monitoreo Éxito San Antonio promediada para el período 2013 a 2015	135
Figura 77. Gráficos polar anuales por hora para PM ₁₀ – Plaza de Mercado Coperplaza, 2013 - 2015	135
Figura 78. Promedio Anual de Concentración de PM _{2,5} por estación 2013-2015	136
Figura 79. Variación temporal de PM _{2,5} en la estación de monitoreo Metro la Estrella promediada para el periodo 2014 a 2015	137
Figura 80. Gráfico polar anual para PM _{2.5} – Estación Metro La Estrella, 2014	137
Figura 81. Tendencia promedio mensual de todas las estaciones de PM ₁₀ y PM _{2,5}	138
Figura 82. Gráficos polar anuales para PM _{2,5} – Universidad Nacional de Colombia, 2015.....	139
Figura 83. Gráficas de dispersión de PM _{2,5} versus NO _x en la estación de monitoreo Universidad Nacional de Colombia, 2015	140
Figura 84. Variación temporal de SO ₂ en la estación de monitoreo Museo de Antioquia promediada para el período anual de 2015 y la estación SOS Aburrá Norte promediada para el período de septiembre a diciembre de 2015	141
Figura 85. Gráfico polar anual y mensual por hora para SO ₂ – SOS Aburrá Norte, septiembre -diciembre 2015	142
Figura 86. Tendencia en el promedio mensual de concentraciones de NO ₂ – año 2012-2015.....	143
Figura 87. Variación temporal de NO y NO ₂ en la estación de monitoreo Politécnico Jaime Isaza promediada para el período 2013 a 2015	144
Figura 88. Tendencia en el promedio mensual de concentraciones de CO. Año 2013-2015.....	145
Figura 89. Variación temporal de CO en todas las estaciones de monitoreo promediada para el período 2014 a 2015.....	145
Figura 90. Comparación de los niveles de activación de contingencia atmosférica por PM _{2,5} con otras regiones.....	149
Figura 91. Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud	151
Figura 92. Carga de mortalidad atribuible a la contaminación del aire en el Valle de Aburrá (Año 2015). Todas las causas: Mayores 30 años (Pope, 2002).....	157
Figura 93. Niveles de calidad del aire vs metas establecidas en el Plan (PM _{2,5}).....	173
Figura 94. Medidas estructurales que propone el Plan de Descontaminación del 2010	175
Figura 95. Líneas estratégicas Plan de Gestión 2016-2019.....	180
Figura 96. Contenido del POECA.....	182

Figura 97. Plan de Gestión 2016-2019: Territorios Integrados. Líneas estratégicas y líneas de soporte y apoyo institucional para la gestión.....	185
Figura 98. Esquema general de la gestión integral de la calidad del aire.....	186
Figura 99. Metas de concentración de PM _{2.5} en la implementación del PIGECA.....	192
Figura 100. Metas de concentración de PM ₁₀ en la implementación del PIGECA.....	192
Figura 101. Metas de concentración de Ozono en la implementación del PIGECA.....	193
Figura 102. Metas de reducción de emisiones de PM _{2.5} . PIGECA 2017-2030.....	194
Figura 103. Estructura del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire 2017-2030.....	195
Figura 104. Reducción de Emisiones de PM _{2.5} al año 2030. Medidas prioritarias – Sector Transporte ...	240
Figura 105. Reducción de emisiones de PM _{2.5} al año 2030. Medidas prioritarias – Fuentes Fijas.....	241
Figura 106. Reducción de Emisiones de CO ₂ al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte.....	242
Figura 107. Reducción de Emisiones de CO ₂ al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas.....	243
Figura 108. Reducción de Emisiones de NO _x al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte.....	244
Figura 109. Reducción de Emisiones de NO _x al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas.....	245
Figura 110. Reducción de Emisiones de SO ₂ al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte.....	246
Figura 111. Reducción de Emisiones de SO ₂ al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas.....	247
Figura 112. Reducción de Emisiones de VOC al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte.....	248
Figura 113. Reducción de Emisiones de VOC al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas.....	249
Figura 114. Reducción de emisiones de Carbono Negro al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte.....	250
Figura 115. Reducción de Emisiones de Carbono Negro al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas.....	251
Figura 116. Curva de costos marginales de reducción de las emisiones de PM _{2.5}	254
Figura 117. Línea base de emisiones de PM _{2.5} . Periodo 2015 – 2030.....	267
Figura 118. Línea base de emisiones de CO ₂ . Periodo 2015 – 2030.....	267
Figura 119. Línea base de emisiones de NO _x . Periodo 2015 – 2030.....	268
Figura 120. Línea base de emisiones de SO _x . Periodo 2015 – 2030.....	268
Figura 121. Línea base de emisiones de VOC. Periodo 2015 – 2030.....	269
Figura 122. Línea base de emisiones de carbono negro. Periodo 2015 – 2030.....	269
Figura 123. Crecimiento de las emisiones de PM _{2.5} por tipo de fuente. Periodo 2015– 2030.....	270
Figura 124. Crecimiento de las emisiones de CO ₂ por tipo de fuente. Periodo 2016 – 2030.....	271



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Figura 125. Crecimiento de las emisiones de $PM_{2.5}$ del sector transporte por tipo de fuente. Periodo 2015 – 2030	272
Figura 126. Crecimiento de las emisiones de CO_2 del sector transporte por tipo de fuente. Periodo 2015 – 2030	273
Figura 127. Crecimiento de las emisiones de $PM_{2.5}$ del sector industrial por tipo de fuente. Periodo 2016 – 2030	274
Figura 128. Crecimiento de las emisiones de CO_2 del sector industrial por tipo de fuente. Periodo 2016 – 2030	275
Figura 129. Metas de reducción de emisiones de $PM_{2.5}$. Escenario de Implementación del Plan	276
Figura 130. Metas de reducción de emisiones de NO_x - Escenario de implementación del Plan.....	277
Figura 131. Metas de reducción de emisiones de SO_2 - Escenario de implementación del Plan	278
Figura 132. Metas de reducción de emisiones de VOC - Escenario de implementación del Plan.....	279
Figura 133. Metas de reducción de emisiones de Carbono Negro - Escenario de implementación del Plan	281
Figura 134. Reducción de emisiones de $PM_{2.5}$ por la implementación del Plan – Sector Transporte	282
Figura 135. Emisiones de $PM_{2.5}$ por categorías de - Implementación del Plan - Sector Transporte.....	283
Figura 136. Reducción de emisiones de $PM_{2.5}$ por la implementación del Plan– Fuentes Fijas	288
Figura 137. Emisiones de $PM_{2.5}$ por categoría. Implementación del Plan – Fuentes Fijas	289
Figura 138. Concentración anual de $PM_{2.5}$. Escenario de implementación del Plan y línea base	293
Figura 139. Concentración anual de $PM_{2.5}$. Escenario de implementación del Plan	294
Figura 140. Concentración anual de PM_{10} . Escenario de implementación del Plan.....	295
Figura 141. Concentración anual de Ozono. Escenario de implementación del Plan	295
Figura 142. Zona de beneficios por la de reducción de $PM_{2.5}$ en la implementación del PIGECA	297



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



PRESENTACIÓN

El presente informe se enmarca en el desarrollo de las actividades establecidas en el Acta de Ejecución N.º 5 del Convenio Marco de Asociación CA 529 de 2011 suscrito entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y el Clean Air Institute (CAI).

Este informe corresponde a los trabajos desarrollados en cumplimiento de lo establecido en el numeral 2.2 del Acta de Ejecución N.º 5: *“Llevar a cabo la repotenciación y lanzamiento del Plan de Descontaminación del Aire para el Valle de Aburrá”*.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es el mayor riesgo ambiental para la salud pública en nuestros días, y en el Valle de Aburrá ello no es la excepción. Gobiernos nacionales y organizaciones internacionales especializadas han reconocido la magnitud del problema y por ello han incorporado la mejora de la calidad del aire como parte estructural de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Asimismo, los gobiernos que hacen parte de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Ambiente) y la Asamblea Mundial de la Salud, han emitido en años recientes varias resoluciones internacionales en materia de calidad del aire y su impacto en la salud^{1,2}. En América Latina, los ministros del ambiente de toda la región han adoptado unánimemente el Plan de Acción Regional sobre Contaminación Atmosférica³⁴, que compromete acciones de cooperación internacional para avanzar hacia el abatimiento de la contaminación atmosférica en los países de América Latina y el Caribe. Por su parte, Colombia cuenta con un amplio marco normativo y de políticas, que establecen las bases para la gestión de la calidad del aire en el país⁵. Asimismo, como se destaca a lo largo del documento, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha venido trabajando a través de acciones concretas en el combate a la contaminación del aire, en el marco de sus responsabilidades de planeación, autoridad ambiental urbana y autoridad de transporte público masivo y colectivo, con radio de acción metropolitano⁶.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, es una Entidad Administrativa de carácter especial, dotada con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio propio, que tiene como propósito consolidar el progreso y desarrollo armónico de la gran región metropolitana; con funciones de planeación, de autoridad ambiental urbana y de transporte público colectivo e individual de pasajeros con radio de acción metropolitano.

¹ <https://europa.eu/capacity4dev/unep/blog/historic-un-environment-assembly-calls-strengthened-action-air-quality-linked-7-million-deaths->

² <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/wha-26-may-2015/es/>

³ http://www.pnuma.org/forodeministros/19-mexico/documentos/decisiones/Contaminacion_Atmosferica/Decision_Contaminacion_atmosferica.pdf

⁴ <http://drustage.unep.org/es/rolac/xx-reuni%C3%B3n-del-foro-de-ministros-de-medio-ambiente-de-am%C3%A9rica-latina-y-el-caribe>

⁵ http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Polit%C3%ACcas_de_la_Dir_ecci%C3%B3n/Pol%C3%ADtica_de_Preveni%C3%B3n_y_Control_de_la_Contaminaci%C3%B3n_del_Aire.pdf

⁶ Dichas funciones están establecidas en la Constitución Política, en la Ley 1625 de 2013, en la Ley 99 de 1993, y demás normas complementarias que rigen a las Áreas Metropolitanas.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



El **Plan de Gestión 2016-2019 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá: Territorios Integrados**, tiene como base fundamental el desarrollo humano integral, y como objetivo superior el desarrollo territorial con equidad. El Plan contempla seis líneas de actuación, cuatro de ellas estratégicas y dos de soporte y apoyo institucional para la gestión. Las líneas de actuación estratégicas son: i) Planeación y Gestión Territorial para la Equidad; ii) Calidad Ambiental y Desarrollo Sostenible; iii) Movilidad Sostenible, Segura y Amable y iv) Seguridad, Convivencia y Paz. Por otro lado, las líneas de soporte y apoyo institucional para la gestión son: i) Soporte Institucional, Gestión y Cooperación y ii) Comunicación Pública y Movilización Social.

Más allá, el Plan Integral de Gestión de la Calidad del aire - PIGECA está articulado con los diferentes instrumentos de planificación establecidos, y en proceso de elaboración, que desde diferentes perspectivas pueden apuntar a atender la problemática de la contaminación del aire, toda vez que ésta no puede concebirse como un problema aislado. En el diseño del PIGECA y en su ulterior implementación se toman en cuenta, entre otros instrumentos, el Plan Estratégico Metropolitano de Ordenamiento Territorial (PEMOT) asumido desde una perspectiva ambiental; el Plan Integral de Desarrollo Metropolitano (PIDM); el Plan de Movilidad Metropolitana, el Plan de Espacios Públicos Verdes y el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). Asimismo, se han tomado en cuenta las disposiciones relativas a la formulación y adopción del Plan Integral de Desarrollo Metropolitano previsto en la Ley 1625 de 2013, en los aspectos relativos a la planeación ambiental del territorio metropolitano.

En este contexto, el propósito del PIGECA es ofrecer alternativas que reduzcan la contaminación en una magnitud consistente con los desafíos a través de un enfoque integral que incluya: a) a las entidades del Estado involucradas, b) los sectores de la actividad urbana y productiva, relacionados con los procesos que generan contaminantes atmosféricos, c) los contaminantes atmosféricos presentes en el Valle de Aburrá, particularmente aquellos que representan mayores riesgos para la salud, en relación con sus concentraciones en la atmósfera.

El PIGECA se debe entender como una hoja de ruta que incluye metas de calidad del aire, el cual busca el trabajo conjunto entre los distintos actores que cohabitan en el territorio, tanto institucionales, como públicos y privados. Proyecta una visión de la región en materia de calidad del aire, sin perder de vista el desarrollo de la misma, invitando de manera decidida a que cada uno de los habitantes adopten un compromiso, participación y apropiación desde el momento de adopción del plan, acorde al empuje que caracteriza nuestra raza y que ha formado el desarrollo de nuestro territorio.

Es un instrumento que propone una visión integral de las medidas y acciones, debidamente soportadas con evidencia científica, que con su implementación conducirían al cumplimiento de las metas de reducción de la contaminación atmosférica por sectores, trazadas en el documento para cada periodo de gobierno. Ha sido construido con aportes de todos los actores y plantea un trabajo articulado permanente, con el objetivo de salvaguardar la salud pública y proteger el ambiente, sin afectar la competitividad ni la productividad de la región.

El PIGECA no pretende configurarse como documento que regule las actividades empresariales, económicas o las dinámicas de la población; ni tampoco como un conjunto de medidas impositivas, restrictivas o regulatorias que establezcan cualquier tipo de penalidad a los sectores productivos, toda vez que las metas son sectoriales. De esta manera, el incumplimiento de las mismas, no da lugar a un proceso sancionatorio ambiental, sin detrimento de la actuación que como autoridad ambiental se realice en cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. Tampoco está dirigido a afectar la productividad, la competitividad ni las ventas de los sectores económicos, la renovación de la matriz de consumo energético es una oportunidad para todos. En este sentido, no se trata de reducir la cantidad de vehículos que se comercializan en el Valle de Aburrá, sino el reducir el número de viajes que se realizan en vehículo particular; el PIGECA contempla un proceso de renovación del parque automotor hacia vehículos con tecnologías limpias sin afectar el sector y subsectores comerciales y productivos que dependen de esta industria; de hecho se propone y está trabajando en programas de renovación que incluyan incentivos y apoyos que promuevan dicha renovación. Tampoco se trata de acabar las industrias que funcionan y mueven la economía de la región o afectar su competitividad y productividad, se trata de apoyar su transformación hacia una industria menos contaminante, entre otras acciones.

El punto de partida para el diseño ha sido la realización de un amplio análisis documentado en los capítulos siguientes, acerca de las relaciones sistémicas y causales entre: a) las Fuerzas Motrices que determinan las emisiones contaminantes en el Valle de Aburrá; b) la presión sobre la atmósfera de dichas emisiones; c) el estado de la calidad del aire resultante; d) el impacto de la calidad del aire sobre la salud, el ambiente, la sociedad y la economía; y e) la respuesta de gobierno, sector privado y sociedad civil ante tales fuerzas motrices, presión, estado e impactos.

Con respecto a las Fuerzas Motrices, el PIGECA toma en cuenta que entre los factores que determinan la generación de emisiones en el Valle de Aburrá se encuentran: a) el acelerado crecimiento de la población registrado en las últimas décadas; b) los patrones de ocupación territorial que han propiciado una alta densificación de las laderas con asentamientos humanos regulares e irregulares de todos los estratos; c) un acelerado crecimiento del parque vehicular de carros y motos; d) una creciente pérdida de la participación modal del transporte público; e) una baja renovación de vehículos automotores y rezago tecnológico con respecto a otros mercados emergentes; f) un transporte de carga con una alta proporción de vehículos antiguos altamente contaminantes y de baja eficiencia energética, y con importantes deficiencias logísticas y de operación; g) una base industrial intensiva en el uso de combustibles fósiles de alto contenido de carbono; h) un creciente consumo de combustibles fósiles; i) patrones culturales que propician emisiones excesivas; y j) oportunidades de mejora en el cumplimiento y fiscalización de resoluciones y normas.

Con respecto a la presión que dichas fuerzas motrices ejercen sobre la atmósfera, la base del análisis ha sido el inventario de emisiones, el cual es elaborado y actualizado periódicamente mediante convenio entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). El



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



inventario de emisiones es detallado en fuentes y contaminantes, por lo cual permite identificar y cuantificar los aportes de los principales sectores de generación de contaminantes atmosféricos en el Valle de Aburrá: transporte, industria, servicios y otros.

En relación con la calidad del aire, el Plan incluye una caracterización del efecto que tienen sobre las emisiones, la estrecha configuración topográfica de la cuenca atmosférica donde se encuentra el Valle de Aburrá, además de la influencia de los factores meteorológicos de microescala, y sinópticos como: la velocidad y dirección de viento, estabilidad atmosférica, precipitación pluvial, radiación solar, humedad relativa y presión atmosférica, entre otros. Asimismo, se identifican de manera general procesos de química atmosférica que ocurren en el reactor representado por la cuenca del Valle de Aburrá y su influencia sobre la formación de partículas secundarias y oxidantes fotoquímicos.

Tomando en cuenta lo anterior, se ha llevado a cabo un análisis del comportamiento histórico y tendencias de la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá, con base en las mediciones registradas por la red de monitoreo atmosférico operada actualmente por el Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA). Sobre esta base, es claro que los principales problemas de contaminación del aire en el Valle de Aburrá están asociados con altas concentraciones de partículas respirables ($PM_{2.5}$) y, en menor grado, por excedencias a la norma de calidad del aire de ozono. Asimismo, se cuenta con evidencias de que para reducir las concentraciones atmosféricas de $PM_{2.5}$ es necesario incidir tanto en las emisiones directas de este contaminante (partículas de origen primario), como en la formación secundaria de $PM_{2.5}$ en la atmósfera. En este último caso, es necesario reducir emisiones de dióxido de azufre (SO_2), producido principalmente por la quema de combustibles fósiles que contienen este elemento y óxidos de nitrógeno generados por el transporte, la industria y los servicios.

Con respecto a los impactos, estos dependen entre otros factores, de los patrones de exposición asociados con la ubicación y actividad de los receptores y su relación geográfica con los emisores, así como de grupos de riesgo vulnerables (adultos mayores, niños, individuos con condiciones preexistentes, y deportistas, entre otros). Para la elaboración del Plan, se ha tomado en cuenta la mejor información disponible sobre los efectos a la salud, atribuibles a la contaminación atmosférica y se han aplicado metodologías de estimación empleadas ampliamente por autoridades de salud y ambientales de escala internacional. Cabe hacer notar que la información acerca de efectos de la contaminación sobre el ambiente (agricultura, bosques, biodiversidad, etc.) es muy limitada en el Valle de Aburrá, al igual que para el caso de los impactos sobre materiales y propiedades.

Como parte del diseño del Plan se han revisado las principales respuestas que se han emitido en la región y el país, para enfrentar los desafíos asociados con el deterioro de la calidad del aire, como planes, políticas, resoluciones, acuerdos y pactos establecidos por las autoridades ambientales y el gobierno nacional. De igual manera, se revisaron las tendencias a nivel mundial, las problemáticas de los grandes centros urbanos, en cuanto a calidad del aire se refiere, como lo han afrontado y superado. En este orden de ideas, el PIGECA evaluó estudios recientes de la Organización Mundial de la Salud,



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Departamento Nacional de Planeación y otros que consideró claves e importantes para tenerlos como referencia, los cuales se enunciarán más adelante.

Estas experiencias han dado soporte al PIGECA y elementos para contextualizar las propuestas a la luz de la realidad en el Valle de Aburrá. Por ello el PIGECA es un plan posible y realizable, sus estrategias son cumplibles si se cuenta con el concurso de todos los actores públicos, privados, academia y ciudadanía.

Reducir la contaminación del aire en el Valle de Aburrá, es una carrera frente al tiempo y el acelerado crecimiento los diversos factores que la propician. De todo ello se desprende la pertinencia no solo de actualizar, sino de rediseñar y ampliar los alcances de los planes anteriores, incorporando tanto acciones previas que se consideran necesarias y eficaces, como aquellas medidas que hacen parte del Plan de Gestión del Área Metropolitana 2016-2019 Territorios Integrados, y otros instrumentos complementarios en materia de movilidad sostenible, ordenamiento territorial, construcción sostenible y producción más limpia, entre otros.

En el mediano y largo plazo, la sostenibilidad de las estrategias para mejorar la calidad del aire y proteger la salud, requieren una transformación cultural. Ello significa que además de las soluciones tecnológicas, también deberán lograrse transformaciones en las relaciones: en lo ambiental, social y económico. Los patrones prevalecientes de producción y consumo deberán revisarse y avanzar hacia una sociedad más equitativa, en equilibrio con el entorno mediante la inclusión de los diferentes actores en el territorio. También se requieren construir nuevas interpretaciones que nos permitan transformar, como individuos y sociedad, la manera de entender lo que sucede a nuestro alrededor, teniendo en cuenta componentes éticos de nuestro accionar transformador; avances científicos que permitan entender la problemática y sus posibles soluciones y desarrollos normativos.

1 LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE: UN PROBLEMA MUNDIAL

CONTEXTO

Respirar aire limpio es esencial para la salud y bienestar de los seres humanos (OMS, 2005), así como para la protección del ambiente. La calidad del aire es el grado de limpieza que se hace al aire adecuado (o inadecuado) para que las personas, animales y plantas permanezcan saludables, en relación con determinados estándares. La liberación de contaminantes a la atmósfera puede degradar la calidad del aire a escalas local, regional y mundial; a través de procesos donde las condiciones meteorológicas, la configuración topográfica y la química atmosférica juegan un papel importante.

El creciente volumen de emisiones de contaminantes atmosféricos que se vive hoy en día, es resultado de la intensificación de las actividades de transporte motorizado, producción industrial y provisión de servicios, en procesos estrechamente relacionados con el uso de tecnologías y combustibles fósiles que generan dichas emisiones. Otras causas importantes incluyen la liberación al aire de vapores de combustibles a lo largo de la cadena de almacenamiento, transporte y distribución de combustibles, así como el consumo y aplicación de solventes y derivados, utilizados para pintar, proteger y limpiar superficies, entre otras sustancias utilizadas en la industria y los servicios. En los hogares, también se generan emisiones por la quema de gas y biomasa para la cocción de alimentos y calentamiento de agua, además del uso de solventes para la limpieza y otras actividades domésticas. A ello se suman las quemas agrícolas e incendios forestales, así como la erosión natural del suelo y también la provocada por la deforestación y los procesos de expansión urbana, sin descontar erupciones volcánicas e incluso la transpiración de sustancias orgánicas de ciertos tipos de vegetación y la descomposición de materia orgánica en el suelo y aguas residuales.

La acción humana y los patrones de apropiación y ocupación territorial, movilidad, producción y consumo en los que se desenvuelve, han sido determinantes para alterar la composición de la atmósfera. La contaminación del aire es una de las mayores expresiones de este deterioro, estrechamente vinculada al cambio climático global ya que ambos problemas están estrechamente relacionados con la quema de combustibles fósiles. Los primeros problemas de contaminación atmosférica en ciudades fueron registrados en la Edad Media, asociados con la quema de carbón en los hogares. La contaminación del aire aumentó y se generalizó a partir de la Revolución Industrial iniciada en Gran Bretaña a finales del siglo XVIII, extendiéndose a los mayores centros de producción industrial (IDEAM, 2012). Este proceso, símbolo de la modernidad retratada en imágenes como se muestra en la Figura 1, se dio como resultado de una serie de innovaciones tecnológicas dentro de las cuales pueden ubicarse la mecanización de la producción industrial y con ésta el crecimiento poblacional de las ciudades. Con ello, crecieron aceleradamente la explotación de los combustibles fósiles y de los recursos minerales de la tierra, así como la población de las ciudades, en un proceso jalonado en gran medida por el surgimiento de las fábricas.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



A mediados del siglo XIX, el descubrimiento del petróleo y sus derivados, amplió la oferta energética que antes suplía con exclusividad el carbón, para posteriormente convertirse en el mayor impulsor de la industria automovilística en el siglo XX, la cual, para esta época, según el IDEAM (2012), fue la responsable del 60% de las emisiones de contaminación atmosférica que padeció una ciudad como Londres.

El deterioro de la calidad del aire dio lugar a trágicos episodios de contaminación atmosférica en sitios como el del Valle de Meuse, Bélgica (1930); Donora, Pennsylvania, Estados Unidos (1948); y, el más severo de la época, en Londres (1952). Los impactos y consecuencias de estos episodios conllevaron a decretar la Ley de Aire Limpio del Reino Unido (1956) y la Ley de Aire Limpio de los Estados Unidos, la cual tiene desde 1970 un registro probado de protección a la salud pública desde 1970. Más allá, las enmiendas de la Ley de Aire Limpio de los Estados Unidos, promulgadas en 1990, significaron un hito en la protección de la calidad del aire de ese país⁷, con una amplia influencia en los sistemas regulatorios en la materia de varios países del mundo.

Por otro lado, la agudización de los niveles de contaminación atmosférica en grandes aglomeraciones urbanas (como Los Ángeles, California) conllevaron también a que autoridades regionales promulgaran leyes, reglamentos y normas para hacerle frente al problema. Como resultado de estas acciones nacionales y locales de prevención y control, se logró articular acciones de mejora de la calidad del aire que han permitido frenar y revertir sustancialmente los niveles de contaminación atmosférica en los países desarrollados. A pesar de dichos avances, en años recientes, grandes capitales europeas como Londres y París, han visto repuntar sus niveles de contaminación como resultado del aumento del parque vehicular a diésel, entre otras causas.

En América Latina, la contaminación del aire ha estado asociada a los procesos de industrialización, urbanización y motorización, ocurridos desde la primera mitad del siglo pasado. En la década de los ochenta, el deterioro de la calidad del aire se generalizó en las grandes áreas metropolitanas como las del Valle de México, Sao Paulo, Santiago de Chile, Río de Janeiro, Lima-Callao y Bogotá, entre otras. En los años noventa, varias de estas metrópolis iniciaron la implementación de planes integrales de gestión de la calidad del aire que han permitido cambiar la trayectoria ascendente de los niveles de contaminación atmosférica y más allá, mejorar significativamente la calidad del aire. No obstante, a pesar de los esfuerzos realizados, la calidad del aire continúa siendo un desafío asociado tanto a la tecnología y los combustibles, como a los patrones de movilidad, producción y consumo en estas metrópolis. Hace tiempo, el deterioro de la calidad del aire dejó de ser exclusivo de las grandes urbes y se ha extendido a ciudades de menor tamaño, por razones similares. Una visión panorámica de la calidad del aire en el mundo puede encontrarse en la 'Base de Datos Mundial de la Contaminación del

⁷ <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview>

Aire Ambiente Urbano' de la Organización Mundial de la Salud⁸ y en el Informe sobre la calidad del aire en América Latina, publicado por el Clean Air Institute⁹.



Figura 1. La ciudad en la era de la Revolución Industrial

Fuente: Historia & Biografía, 2017.

FACTORES SINÉRGICOS QUE DETERMINAN LAS ACTUALES CONDICIONES DE CALIDAD DEL AIRE

De acuerdo con el Clean Air Institute (2017), los problemas de calidad del aire son el resultado de las interacciones y sinergias entre fuerzas motrices o estructurales interrelacionadas que incluyen, entre otras: crecimiento demográfico; modelo de desarrollo económico; patrones de movilidad, producción, consumo y ocupación de los territorios; estado de las tecnologías y calidad ambiental, e intensidad del uso de combustibles; procesos de producción y consumo de energía y las prácticas culturales que se llevan a cabo en las ciudades. La conjunción de dichos factores da como resultado la generación de emisiones de agentes contaminantes provenientes del transporte, la industria, los servicios y los hogares, entre otros. Por su parte, los contaminantes liberados al aire están sujetos a procesos de dispersión, transporte, transformación y remoción de la atmósfera bajo la influencia de las características del terreno, las condiciones atmosféricas (dirección e intensidad de viento, humedad, precipitación pluvial, estabilidad de la atmósfera, intensidad de la radiación solar, entre otras); y diversos procesos químicos que ocurren en la atmósfera. Dependiendo de la concentración de contaminantes y los tiempos de exposición, el deterioro de la calidad del aire afecta a la salud, ambiente (agua, agricultura, bosques y biodiversidad) y los materiales; estos efectos y sus costos vinculados con el bienestar social, la productividad, la competitividad y, en última instancia, con el cumplimiento de las metas de desarrollo sostenible locales y nacionales.

⁸ http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/

⁹ http://www.cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/index.php?id_sitio=1&p_idioma=ESP&idp=59



Figura 2. Factores que influyen en la calidad del aire

Fuente: Clean Air Institute, 2017.

Particularmente, para el caso de América Latina el actual estilo de crecimiento económico y el aumento de su población, han resultado en un incremento considerable en el consumo de combustibles fósiles, principalmente de gasolina y diésel utilizados en el transporte motorizado, así como en una ineficiente matriz energética compuesta mayoritariamente por fuentes fósiles para la producción industrial (carbón, diésel y gas en el caso de Antioquia).

En los países desarrollados se han logrado avances considerables para desacoplar el crecimiento económico de la generación de contaminantes atmosféricos. Ello ha sido posible gracias a la implementación de regulaciones para la prevención y control de emisiones dirigidas principalmente a la mejora tecnológica, el control de emisiones y la mejora de las especificaciones de calidad ambiental de los combustibles. Europa se ha caracterizado por la adopción de políticas agresivas para avanzar hacia una movilidad sostenible, incluyendo el desarrollo de infraestructura de transporte masivo y para la ciclo-caminabilidad, el desarrollo de una cultura del uso de la bicicleta, el establecimiento de zonas de bajas emisiones y peaje urbano y carretero basado en emisiones, entre otros. En todo el mundo desarrollado, se ha establecido un marco regulatorio que dirigido a la introducción de vehículos de emisiones ultra bajas y energéticamente eficientes en combinación con requerimientos más estrictos para los combustibles vehiculares. Por otro lado, está avanzando la masificación de vehículos híbridos y eléctricos, así como de la infraestructura de recarga necesaria. La optimización de viajes relacionados con el trabajo, el desarrollo de alternativas de auto compartido y el establecimiento de zonas de bajas emisiones, se encuentran también entre prácticas de uso creciente en estos días. Adicionalmente, se están llevando a cabo estrategias de transformación de las matrices energéticas a través de una creciente sustitución de combustibles fósiles por energías renovables (eólica y solar, entre otras) y la modernización progresiva de tecnologías acoplada a estándares de combustibles cada vez más estrictos

para propiciar sistemas de transporte, producción industrial, y energéticos de muy bajas o nulas emisiones contaminantes.

Para el 2010 (Figura 3), el 74% de la matriz energética latinoamericana dependía de las fuentes fósiles (petróleo, gas natural y carbón en una menor proporción), con un aporte significativo de la biomasa (14%). Cabe aclarar que estas proporciones varían significativamente entre países y regiones. En Colombia, el Observatorio Económico Colombia de BBVA, *Research*, estima que la participación de las fuentes no renovables dentro del total de la energía primaria, representaba el 93% en el 2012¹⁰.

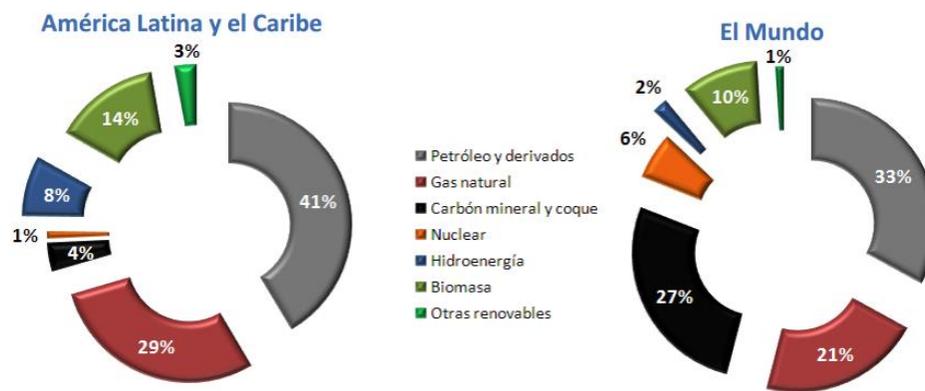


Figura 3. Comparativo de la matriz energética de AL vs. el mundo para el 2010

Fuente: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 2012.

Dice la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) al respecto que, “el surgimiento de nuevos grupos de ingreso en América Latina se ha traducido, en sus patrones de compra, en un tránsito paulatino del uso del transporte público al privado con el consecuente aumento de la flota vehicular” (2016, pg. 38). Por lo cual se hace necesario modificar la actual matriz energética hacia fuentes renovables, que consigan desmontar el crecimiento económico del consumo de energía y elevar la sensibilidad del consumo de energía a los precios.

Las consecuencias de este aumento del consumo de gasolinas, se traducen en la conformación, especialmente en las zonas urbanas, de fuertes externalidades negativas como: contaminación atmosférica, ruido, accidentes viales, congestión vehicular, enfermedades cardiorrespiratorias y el cambio climático. Lo anterior pone en evidencia la urgente necesidad de crear estrategias de justicia ambiental y de gobernanza como manera de transformar los patrones de consumo energético actuales,

¹⁰ <https://www.bbvarresearch.com/wp-content/uploads/2016/02/Documento-Final-Matriz-Energetica.pdf>

incidiendo en una baja de los niveles de contaminación atmosférica que se viven en las grandes ciudades. En la Figura 4 puede observarse el consumo de petróleo que se da en cada país del mundo.

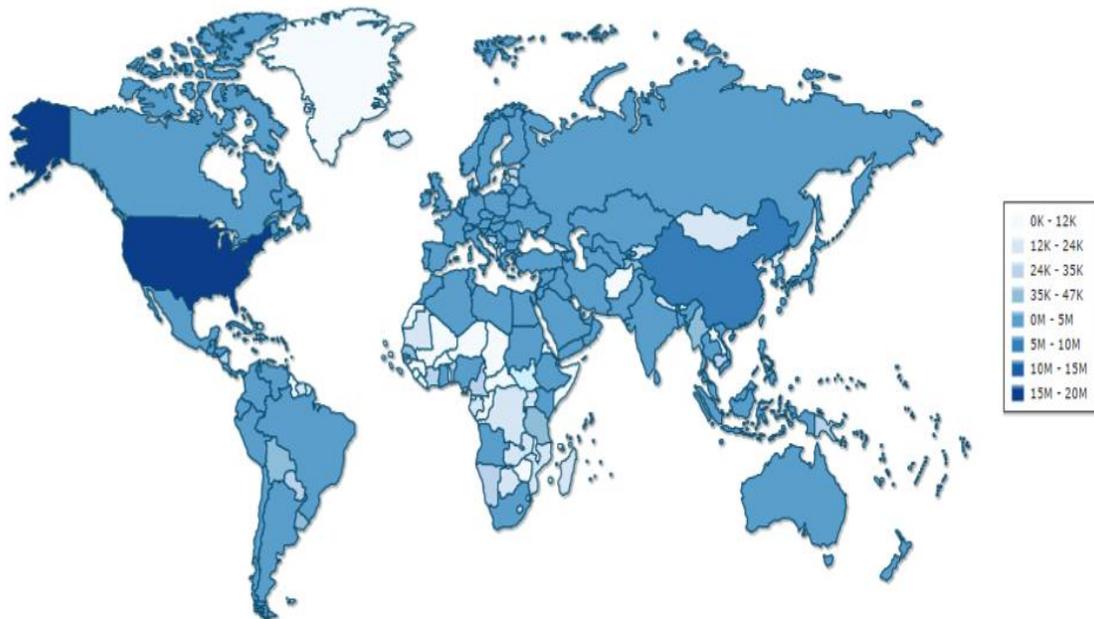


Figura 4. Consumo de barriles de petróleo por día a nivel mundial a 2010

Fuente: Indexmundi, 2017.

Actualmente, la calidad del aire constituye un tema de preocupación mundial que obedece al continuo crecimiento de la población, y a las deficiencias estructurales particularmente asociadas con desarrollo industrial y del sector transporte en los principales centros urbanos, pero que incluye al resto de los sectores de la economía, así como a la interrelación sistémica entre éstos. Su importancia radica en los efectos que genera sobre la salud respiratoria y cardiovascular de las personas, el deterioro en la calidad de vida de la población, así como por las pérdidas económicas para las ciudades y sus habitantes (OPS, 2005; OMS, 2006; IDEAM, 2012). La contaminación atmosférica es uno de los problemas medioambientales más serios a los que la sociedad tiene que hacer frente hoy. Según Campell García, la actual demanda de movilidad asociada al crecimiento industrial, está generando un incremento extraordinario de las emisiones de sustancias contaminantes a la atmósfera. *“Esta situación acarrea que entornos concretos (grandes ciudades o zonas próximas a elevada actividad industrial) puedan registrar niveles de calidad del aire inadecuados con efectos negativos en la salud humana y los ecosistemas”* (2010, pg.8).

A continuación se describen cada uno de estos factores y cómo influyen en el estado actual de la calidad del aire.

El crecimiento demográfico y la calidad del aire

Las dinámicas de crecimiento demográfico son un importante factor en los problemas de contaminación del aire que se dan en todas las ciudades del mundo, dado que demandan un mayor consumo energético y de recursos, de generación de desechos y emisiones, así como de la ocupación de suelos en muchos casos de forma descontrolada y sin planeación. Este hecho se ve impulsado a partir de mediados del siglo XX como resultado de la reactivación económica que surge tras la posguerra. En 1950, el mundo era mayoritariamente rural (70%) con solamente el 7,3% de su población viviendo en ciudades mayores de 1 millón de habitantes, y menos de 1% en ciudades mayores de 10 millones. Al final de esta década, los ciudadanos urbanos son mayoritarios y la proporción que habita en ciudades mayores de 1 millón de habitantes, sobrepasa el 22% (Moreno, 2017). Por otra parte, UN Hábitat estima que el nivel de urbanización a nivel mundial pasó del 44,7% en 1995 a 54% en el 2015. Asimismo, proyecta que este porcentaje llegará a 58,2% en el 2025¹¹.

Según ONU-Hábitat (2012), la población urbana ha pasado de representar un 13% al iniciarse el siglo XX a situarse en el 29,8% en 1950 y al finalizar con cerca del 47,2%. De acuerdo con Jiménez Herrero (2016) actualmente esta cifra asciende al “54% de una población total de 7.500 millones habitantes” (pg.16), para el 2050 se estima que el 70% de la población esté concentrada en zonas urbanas e incluso en algunas regiones de Europa, América Latina y el Caribe, y América del Norte alcance 82%, 86% y 87%, respectivamente. La Figura 5 muestra un comparativo que evidencia a partir de diferentes fechas (1990, 2014 y 2050) el crecimiento de la población urbana en el mundo.

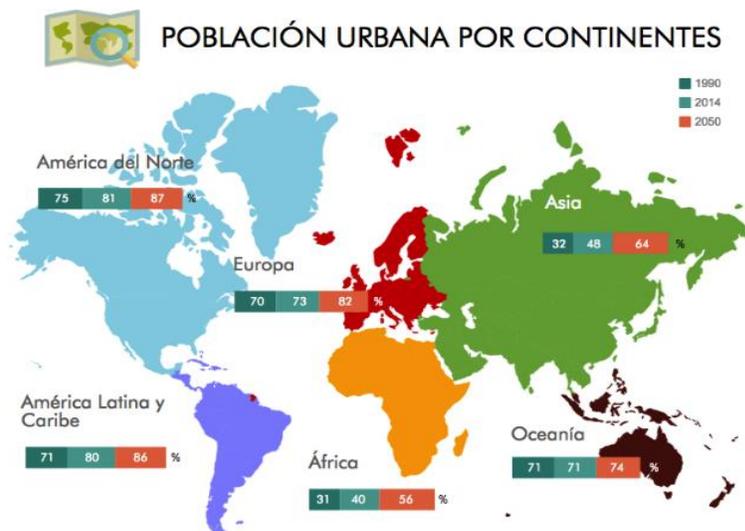


Figura 5. Población urbana por continentes comparativo de crecimiento entre 1990, 2014 y 2050

Fuente: World Economic Forum, 2016.

¹¹ http://wcr.unhabitat.org/main-report/#section_eleven

Este aumento demográfico implicará mayores impactos ambientales, viéndose reflejado en la salud y calidad de vida de todos sus habitantes. El crecimiento demográfico actúa como parte de todo un sistema o engranaje, el cual genera nuevos procesos económicos que van acompañados de un incremento en las actividades industriales, aumento en las tasas de motorización, consumos superiores de combustible y la generación de mayores emisiones de contaminantes al aire. Ambos fenómenos asociados además a características geográficas y climáticas particulares, contribuyen de manera determinante en el aumento de los problemas de contaminación atmosférica, que viven hoy importantes ciudades en el mundo.

A propósito, Ángel Maya plantea que, paradójicamente, acciones como el crecimiento desbordado y sin planeación de las ciudades en los países denominados en vías de desarrollo, y la falta de solución a sus problemas ambientales, pueden significar “un punto de estrangulamiento del desarrollo moderno” (1996, pg.20).

La morfología de los territorios y la calidad del aire

La morfología en donde se encuentran ubicados grandes centros urbanos, también juega un importante papel dentro de los factores ambientales, que hacen que un problema como la contaminación atmosférica pueda potenciarse. En el caso de territorios que como el Valle de Aburrá se encuentran ubicados dentro de zonas encañonadas y rodeadas de montañas, puede generarse una mayor retención de contaminantes, al no permitir una mejor circulación del aire, así como fenómenos meteorológicos particulares que pueden interactuar de manera sinérgica para agravar los problemas de calidad del aire que se viven hoy en el mundo¹².

En las ciudades ubicadas al interior de cuencas hidrográficas que actúan como sistemas orográficos encerrados, se dificulta la circulación y ventilación del aire, o bien lo dirigen especialmente a lo largo de corredores correspondientes a ejes fluviales (ríos, esteros y quebradas) (Romero et al, 2010). De acuerdo con el estudio realizado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2007), las condiciones geográficas y climáticas afectan la dispersión de los gases y partículas generadas por la industria, el transporte y las residencias, lo cual determina en última instancia las condiciones atmosféricas de una ciudad o región. La temperatura ambiental, la humedad y la pluviosidad, la velocidad y la dirección del viento, la estabilidad atmosférica, las altas y las bajas presiones, sumado a la topografía de valles y montañas, condicionan la concentración final de los contaminantes atmosféricos.

¹² <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JAMC-D-13-0165.1>

El clima y la calidad del aire

Otro factor que determina efectos negativos sobre la calidad del aire en las grandes urbes está asociado al acelerado proceso de crecimiento espacial de las ciudades, al sustituir usos y coberturas de suelos naturales y agrícolas por superficies de cemento o suelos duros, “lo que ha derivado en la conformación de islas de calor, reducción de la humedad atmosférica y de la ventilación, así como en elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos” (Romero et al, 2010, pg. 38).

Así mismo, fenómenos como la inversión térmica, en la que una capa de aire frío se ubica debajo de una capa de aire caliente, haciendo que los contaminantes no se dispersen, se mantengan y se acumulen cerca del suelo, lo que sumado a una baja velocidad del viento permite que estas condiciones sean duraderas (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007; Romero et al, 2010). La inversión térmica puede retener el ascenso y dispersión de los contaminantes de las capas más bajas de la atmósfera y causar un problema localizado de contaminación del aire. La proximidad de una gran área metropolitana a una cadena de montañas, también puede tener un efecto negativo sobre el transporte y la dispersión de contaminantes. Las capas de inversión térmica impiden la elevación de las masas de aire contaminadas, que quedan atrapadas entre la superficie y los primeros niveles de altura.

Dice Campell García (2010), que la contaminación del aire plantea un reto mundial, ya que factores como las condiciones meteorológicas pueden provocar grandes variaciones en los niveles de contaminantes, “los niveles de contaminación varían considerablemente y episodios de contaminación puede significar picos inesperados, repentinos en el riesgo de exposición en determinados lugares” (pg.41). La velocidad del viento puede también influir en la calidad del aire, una velocidad relativamente alta, diluye enormemente el aire, sin embargo, si las condiciones climáticas son muy calurosas o muy frías pueden permitir que la emisión de contaminantes, sean mayores. Si se considera que factores climáticos al entrar en interacción con otros elementos del territorio, como con sus características morfológicas y la presencia de fuentes productoras de gases y sustancias químicas, la composición del aire se ve alterada drásticamente generando mayores problemáticas de contaminación atmosférica.

ANTECEDENTES Y MEDIDAS EN EL MUNDO

La contaminación atmosférica actualmente “se reconoce como uno de los mayores desafíos ambientales que deben enfrentar las ciudades de hoy” (Franco, 2011, pg. 193), por lo que diferentes países vienen desarrollando acciones comprometidas con mejorar sus condiciones atmosféricas. De esta forma la política ambiental constituye uno de los desafíos sociales más importantes para los poderes públicos y los agentes económicos y es, asimismo, un tema ante el que está muy sensibilizada la población, puesto que afecta directamente a su bienestar y salud.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



En el mundo es cada vez mayor la conciencia frente a la calidad del aire y la protección de la atmósfera, concibiéndolo como un bien común indispensable para la vida, del cual todas las personas tienen derecho a su uso, goce y el deber de su conservación. La contaminación atmosférica de las ciudades se ha convertido en un problema de salud pública universal y es considerada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como una de las prioridades mundiales más importantes en salud. Según diversos estudios, la contaminación del aire es responsable del 1,4% de todas las muertes en el mundo, siendo la mitad de este impacto debido a las emisiones de los vehículos a motor (Campell García, 2010). Este es un problema global que afecta tanto a países desarrollados, especialmente en sus grandes ciudades, como a países en vías de desarrollo.

Actualmente, múltiples ciudades del mundo están siendo afectadas por altos índices de contaminación y efectos en salud, algunas de las cuales comparten configuraciones similares a nivel morfológico que retienen las emisiones, y de crecimiento demográfico con poblaciones que superan los millones de habitantes en sus áreas metropolitanas. Lo cual, asociado al aumento de su parque automotor y a la industria, han hecho que la contaminación provenga en su mayoría de vehículos a motor que se usan para el transporte particular, público y comercial.

Todo lo anterior ha obligado a que como parte de las políticas ambientales que se vienen adoptando, diversas ciudades desarrollen estrategias que apuntan a detener el crecimiento de los niveles de contaminación y, más allá, mejorar la calidad del aire en sus territorios. Acciones como cerrar el ingreso de autos al centro urbano cuando suben los niveles de contaminación, impulsar el uso de la bicicleta y del vehículo eléctrico, vehículo compartido o promover el uso racional del automóvil privado, son algunas de las opciones por las que diferentes ciudades han optado para mejorar su calidad del aire.

En algunas ciudades (como la Zona Metropolitana del Valle de México¹³ y la Región Metropolitana de Santiago¹⁴) se promueven el uso de placas y engomados de colores que determinan las emisiones de gases contaminantes y su posibilidad o no de circulación en la ciudad. Un sistema basado en el nivel de emisiones del vehículo ha sido establecido en múltiples ciudades europeas para limitar el acceso de los automotores a “zonas de baja emisión”, en las que solo pueden entrar vehículos con placas especiales que tienen que ser adquiridas y que acreditan el auto. En Estados Unidos y Europa, por ejemplo, se viene actuando de manera más decidida en los últimos años. Los Estados hoy tienen la obligación de incorporar y aplicar a su ordenamiento interno, las nuevas directivas sobre calidad del aire, que establecen, entre otros aspectos, objetivos de calidad del aire a corto y a largo plazo. Entre las directivas de mayor relevancia destacan:

¹³ <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/hoy-no-circula>

¹⁴ <http://www.emol.com/noticias/Nacional/2016/04/01/795919/Hoy-comenzo-la-restriccion-vehicular-en-Santiago.html>

- a. Las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud¹⁵ del 2005
- b. El Documento Final de la Conferencia Río + 20 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible titulado “El futuro que queremos”¹⁶ del 2012
- c. El Acuerdo de París sobre Cambio Climático¹⁷ del 2015
- d. Los Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible¹⁸ de 2015
- e. La Resolución de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Ambiente que llama a una acción fortalecida sobre la calidad del aire, de 2014
- f. La Resolución la Organización Mundial de la Salud sobre Contaminación del Aire, de 2015
- g. La Decisión N. ° 8 del XIX Foro de Ministros del Ambiente de América Latina y el Caribe que adopta el Plan de Acción Regional sobre Contaminación Atmosférica, de 2014
- h. La Decisión N. ° 9 de la XX versión de dicho foro que acuerda la plena implementación del Plan de Acción Regional, de 2016.

Puede decirse que son muchas las medidas que de acuerdo con las características particulares de las ciudades más densamente pobladas se vienen desarrollando a través de planes de mejora de la calidad del aire. Para Campell García (2010) las principales estrategias utilizadas han sido las siguientes:

1. La movilidad en las ciudades
2. La eficiencia energética
3. La declaración de zonas de baja emisión
4. El cambio de los vehículos contaminantes por otros menos contaminantes
5. Promover el uso de combustibles menos contaminantes
6. Alternativas de transporte
7. Medidas reducción del tráfico
8. Medidas de concientización y sensibilización de la población
9. Logística más eficiente en el suministro de mercancías
10. La disminución de las emisiones en las horas pico

Estas acciones por lo general vienen enmarcadas dentro de planes y programas de mejoramiento de la calidad del aire de más largo aliento. Entre los programas de gestión de la calidad del aire en América Latina que incluyen algunas de estas estrategias se destacan: a) el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá¹⁹, b) los programas para mejorar la calidad del aire en el Valle de México²⁰ y otras

¹⁵ http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/es/

¹⁶ <https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216-l-1-spanish.pdf.pdf>

¹⁷ https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf

¹⁸ <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

¹⁹ http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=b5f3e23f-9c5f-40ef-912a-51a5822da320&groupId=55886

²⁰ <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/proaire-2011-2020-anexos/>



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



ciudades mexicanas (Proaires)²¹, c) el Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana de Santiago (ahora en actualización bajo el título de “Santiago Respira”²², d) el Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima-Callo (PISA), y e) el Programa de Control de la Contaminación del Aire por Vehículos Contaminantes (Proconve) y el Programa de Contaminación del Aire para Motocicletas y Vehículos Similares, de Brasil. Otras ciudades con programas de calidad del aire son, Quito y San José de Costa Rica, además del Valle de Aburrá, Colombia que cuenta con un plan de descontaminación del aire adoptado en el año 2011. Por otra parte, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México publicó recientemente la “Estrategia Nacional de calidad del Aire”, la cual es un instrumento de planeación que establece directrices y mecanismos de articulación para “controlar, mitigar y abatir la emisión y concentración de contaminantes en la atmósfera en ambientes rurales y urbanos con proyección al año 2030”²³. Por otra parte, el Ministerio del Ambiente del Perú está iniciando la implementación del proyecto “Perú, Mejora de los Servicios de Calidad Ambiental”, que incluye un importante componente de calidad del aire, con el apoyo financiero del Banco Mundial. Asimismo, el Ministerio de Ambiente y Agua del Gobierno Plurinacional de Bolivia, está preparando actualmente un Plan Nacional de Gestión de la Calidad del Aire.

Los planes integrales de gestión de la calidad del aire constituyen uno de los principales instrumentos desarrollados con los cuales se busca revertir su deterioro, en áreas donde el aire es cada vez más contaminado. Estos planes y programas vienen incorporando medidas concretas para la vigilancia y control de las emisiones de contaminantes, y se fundamentan en la relación existente entre las fuentes que los producen y el impacto que ocasionan en la calidad del aire y sobre la salud de las personas.

El transporte motorizado es el principal causante de la contaminación en las grandes ciudades, por lo que los planes de mejora de la calidad del aire deben profundizar y proponer medidas efectivas destinadas a dar soluciones cuyo objetivo sea la reducción de la contaminación proveniente de este. Todo plan de mejora de la calidad del aire, debe ir acompañado o incluir medidas concernientes a la mejora de la movilidad de los ciudadanos, como herramienta para la eficiencia del tráfico. De igual manera, promover la utilización y las inversiones de los estados, en alternativas de transporte que conlleven gradualmente a la población a usar cada vez menos el transporte privado.

Ante este escenario internacional es importante considerar la necesidad de generar mayores estrategias, que apunten a acciones de gobernanza ambiental en donde la participación ciudadana sea fundamental, las campañas de concientización, sensibilización y promoción de los planes de mejora de la calidad del aire serán fundamentales para ello. Así mismo lograr una mayor cohesión entre las normativas locales, nacionales e internacionales; podrían garantizar mejores resultados. Todo esto no

²¹ <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire>

²² <http://santiagorespira.gob.cl>

²³ <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/calidad-del-aire-98085>



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



puede resolverse sin tener en cuenta la generación de políticas construidas articuladamente, en donde la planeación y el ordenamiento territorial sean complementarias.

Finalmente, las experiencias exitosas en diferentes partes del mundo pueden contribuir en mejorar las condiciones ambientales de nuestra región metropolitana siendo replicadas de acuerdo con las características particulares de este territorio, permitiendo además desarrollar planes de mejora de la calidad del aire más completos, y no incurrir en los errores o fallas que otras ciudades han tenido que enfrentar.

LA SALUD COMO EL CENTRO DEL PROBLEMA Y LAS DECISIONES MUNDIALES

Conforme a lo planteado en el Decreto 948 de 1995(Compilado en Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.5.1.1.2), la contaminación atmosférica se define como *“el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire”*, en el cual los contaminantes *“son fenómenos físicos, o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas”*. (IDEAM, 2012)

Como ya se ha señalado anteriormente, esta contaminación es cada vez más relevante en los centros urbanos, por una articulación multifactorial de asuntos, tales como el desarrollo del sector industrial y de transporte, así como el crecimiento demográfico y las condiciones geográficas particulares. Pero de manera adicional, es fundamental reconocer que esta contaminación afecta de manera directa y notable la calidad de vida de la población, *“lo cual se ve reflejado en un aumento en la frecuencia y la gravedad de las enfermedades respiratorias, en la mortalidad temprana, en las consultas hospitalarias y en la ausencia laboral.”* (IDEAM, 2012). En este sentido, al hablar de contaminación atmosférica es necesario trascender el debate y análisis de una problemática ambiental, para abordar de manera directa una problemática relacionada con la calidad de vida de la población (IDEAM, 2012).

La Organización Mundial de la Salud OMS, como organismo de las Naciones Unidas encargado de velar por la mejora de las condiciones de salud de las poblaciones en más de 150 países del mundo, ha abordado esta comprensión integral del problema ambiental al señalar que el calentamiento al que se enfrenta la Tierra actualmente, puede afectar a la salud humana de diversas maneras, influyendo en *“los determinantes sociales y medioambientales de la salud, a saber, un aire limpio, agua potable, alimentos suficientes y una vivienda segura”* (OMS, 2016).

Específicamente en cuanto a los problemas atmosféricos, este organismo internacional ha señalado en reiteradas ocasiones que la contaminación atmosférica de las ciudades se ha convertido en un problema de salud pública universal (OMS, 2006) representando *“un importante riesgo medioambiental para la*

salud [que puede ser evitado] mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire [para que los países reduzcan] la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.” (OMS, 2006).

Así, si bien existe un consenso cada vez más universal en el cual se reconoce que el aire limpio es uno de los requisitos básicos de la salud y el bienestar humano, lo que se ha venido configurando es una amenaza inminente a dicho bienestar. Según una evaluación de la carga de morbilidad debida a la contaminación atmosférica hecha por la OMS, cada año se producen más de 2 millones de muertes prematuras atribuibles a los efectos de la contaminación atmosférica urbana y de la contaminación del aire de interiores. Más de la mitad de esa carga recae sobre la población de los países en desarrollo. (OMS, 2006).

Se calcula además que para el año 2012 se produjeron 6.5 millones de muertes asociadas a la contaminación del aire, lo que equivale al 11,6% de todas las muertes a nivel mundial, siendo responsable del 36% de todas las muertes por causa del cáncer de pulmón, 35% de las muertes por EPOC, 34% de las muertes por accidentes cerebro vascular y 27% de las muertes por cardiopatía (OMS, 2016). El infograma de la campaña ‘Respira Vida’ de la Organización Mundial de la Salud y la Coalición para el Clima y Aire Limpio²⁴ que se presentan en la Figura 6 y en la Figura 7, ilustra los principales impactos de la contaminación del aire a escala mundial. Así mismo, según estas estimaciones, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo, provocó 3 millones de defunciones prematuras en el 2012, lo cual se debe a la exposición a pequeñas partículas de 10 micrones de diámetro (PM₁₀) o menos, a través de cardiopatías, neumopatías y cáncer.

En cuanto a la población mayormente afectada, según la OMS, para 2014 el 92% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las Directrices de la OMS sobre la calidad del aire, identificando que son los habitantes de países de ingresos bajos y medianos quienes *“sufren desproporcionadamente la carga de morbilidad derivada de la contaminación del aire exterior, lo que se constata por el hecho de que el 87%, de los 3 millones de defunciones prematuras, se producen en esos países, y la mayor carga de morbilidad se registra en las regiones del Pacífico Occidental y el Asia Sudoriental”*. (OMS, 2016).

²⁴ La Coalición para el Clima y el Aire Limpio, es una asociación voluntaria de gobiernos, organizaciones intergubernamentales, empresas, instituciones científicas y organizaciones de la sociedad civil comprometidas con la mejora de la calidad del aire y la protección del clima mediante acciones para reducir los contaminantes climáticos de corta duración. Actualmente, la red mundial de la CCAC incluye más de 100 socios estatales y no estatales, y cientos de actores locales que realizan actividades en todos los sectores económicos.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



En este mismo sentido, el IDEAM ha señalado que teniendo en cuenta que los mayores niveles de contaminación se presentan en las zonas urbanas y grandes centros industriales, y que a nivel nacional en Colombia, “cerca del 74% de la población habita en estas zonas, este problema cobra una especial importancia para la salud humana” (IDEAM, 2012).

Finalmente, en términos del abordaje integral de esta problemática, este organismo internacional ha señalado que *“la mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de las personas, y requieren medidas por parte de las ciudades, así como de las instancias normativas nacionales e internacionales en sectores tales como transporte, gestión de residuos energéticos, construcción y agricultura.”* (OMS, 2016).

Es importante señalar que estos planteamientos han venido fundamentando un abanico de medidas y disposiciones a nivel mundial, nacional y regional; algunas serán expuestas en el apartado siguiente de este Plan, las cuales en general reconocen y resaltan la conexidad existente entre el abordaje de la problemática medioambiental y de otros asuntos que comprometen derechos fundamentales, como la vida, la salud y la integridad física, enmarcados para esto, no sólo en la Declaración Universal de los Derechos Humanos aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas, el 10 de diciembre de 1948, sino a nivel nacional a través de la Constitución Política de 1991 y su posterior desarrollo jurisprudencial, los cuales se han encargado de incorporar normas que permitan al Estado instrumentalizar dichos derechos.



Figura 6. Infograma de la campaña 'Respira la vida', sobre los impactos mundiales de la contaminación atmosférica (OMS-CCAC, 2017). <http://breathelife2030.org/news/infographic-library/>

LA SALUD Y LA CARGA DE MORBILIDAD PROVOCADA
POR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE



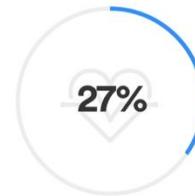
de todas las muertes por cáncer de pulmón



de las muertes por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)



de las muertes por accidente cerebrovascular



de las muertes por cardiopatía

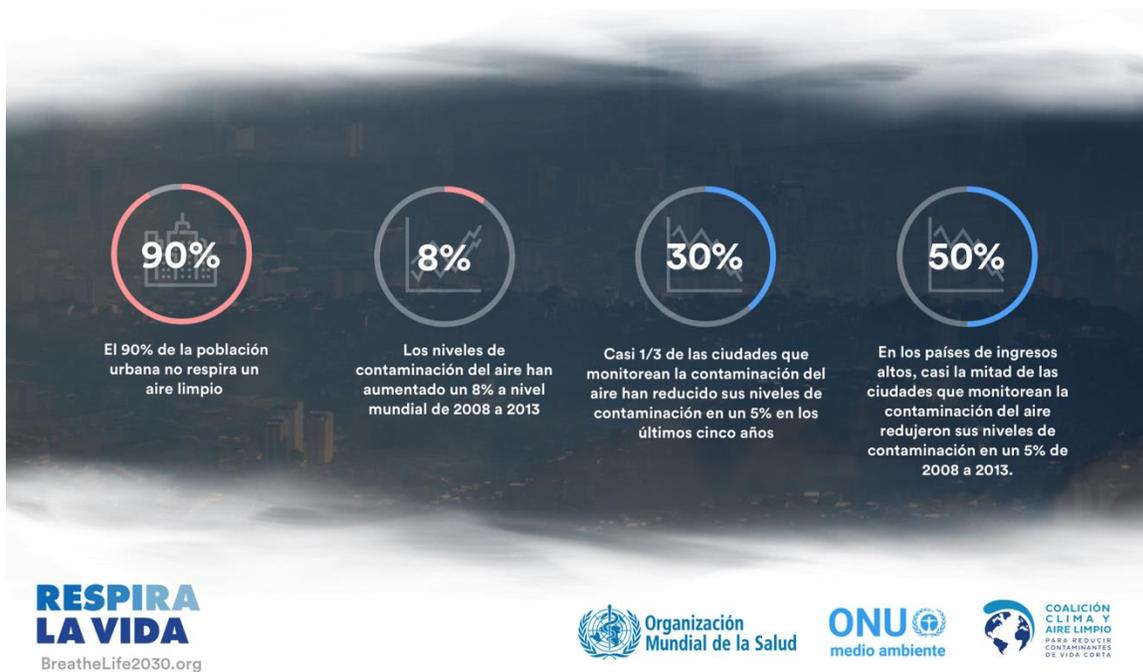


Figura 7. Infograma de la campaña 'Respira la vida', sobre los impactos mundiales de la contaminación atmosférica' (OMS-CCAC, 2017)



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



En el marco de lo anterior, y como lo veremos en detalle a continuación, la Corte Constitucional²⁵ ha reconocido que:

La conservación del ambiente no solo es considerada como un asunto de interés general, sino principalmente como un derecho internacional y local de rango constitucional, del cual son titulares todos los seres humanos, “en conexidad con el ineludible deber del Estado de garantizar la vida de las personas en condiciones dignas, precaviendo cualquier injerencia nociva que atente contra su salud”. Al efecto, la Constitución de 1991 impuso al Estado colombiano la obligación de asegurar las condiciones que permitan a las personas gozar de un ambiente sano, y dispuso el deber de todos de contribuir a tal fin, mediante la participación en la toma de decisiones ambientales y el ejercicio de acciones públicas y otras garantías individuales, entre otros. (Sentencia T-154/13)

En este sentido, señala la Honorable Corte:

Existe una estrecha relación entre el derecho a un ambiente sano con los derechos a la vida y a la salud, razón por la cual, la Corte ha sostenido que estas garantías constitucionales no pueden desligarse; de hecho, éste debe ser considerado como un derecho fundamental para la existencia de la humanidad, por cuanto, los factores perturbadores del medio ambiente causan daños irreparables en los seres humanos. (Sentencia T-256/15).

Así, a partir de la Constitución Política de 1991, y de la suscripción y aprobación de diversos instrumentos transnacionales, al igual que de constataciones en derecho comparado, y haciendo incluso referencia directa a lo establecido por las guías recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y a las normas de calidad del aire en exteriores emitidas por ella, “*la Corte Constitucional colombiana ha desarrollado ese carácter ecológico de la carta política, dando carácter fundamental al derecho al ambiente sano, directamente y en su conexidad con la vida y la salud, entre otros, que impone deberes correlativos al Estado y a los habitantes del territorio nacional.*” (Sentencia T-154/13). Reconociendo además los efectos particulares de ciertos contaminantes del aire, dentro de los cuales se referencia en material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) (Sentencia T-256/15).

ACUERDOS MUNDIALES SOBRE MEDIO AMBIENTE

El primer documento de carácter internacional en dar reconocimiento al derecho a un medio ambiente sano, fue la declaración de Estocolmo en 1972, producto de la primera Conferencia de la Organización de Naciones Unidas (ONU) sobre el Medio Ambiente Humano. Se inicia en el mundo el nacimiento de partidos políticos con bases cimentadas en ideologías ambientalistas, al tiempo que se crean algunos ministerios de medio ambiente que dan paso a políticas ambientales de orden local que posibilitan

²⁵ Otras sentencias que hacen referencia a esta conexidad de derechos son la T-343/15, T-661/12, T-672/14 y T-046/99



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



poner en escena la preocupación por el medio ambiente como un tema que no podía estar relegado por más tiempo.

En 1983, la Organización de Naciones Unidas creó la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida como la Comisión Brundtland, cuyo objetivo principal se enfocó en la difícil relación entre medio ambiente y desarrollo, y todas las implicaciones que esa relación acarrea, sopesar la racionalidad económica respecto al derecho a un ambiente sano, armonizar dos discursos que parecen irreconciliables a la luz de economías de carácter extractivo como sustento principal de muchos países. El informe 'Nuestro Futuro Común' (1987), puntualizó que la protección ambiental había dejado de ser una tarea nacional para convertirse en un problema global, el planeta debía trabajar para revertir la degradación. Es en este documento donde se acuña el concepto de desarrollo sostenible definido como *"la satisfacción de las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades"*, que sirve de base para la evolución del Derecho Internacional Ambiental de ahí en adelante.

La dinámica a nivel mundial seguía mostrando que se priorizaba un crecimiento económico desmedido y un consumo casi incontrolable, siendo estas las responsables de las principales amenazas ambientales. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en 1992 en Río de Janeiro (Brasil), el concepto central continuó siendo el desarrollo sostenible. Se dieron a conocer tres tratados internacionales: La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CNUDB), y la Convención de Lucha contra la Desertificación (CNULD). El Principio 10 de la Declaración de Río, se configura como uno de los más importantes, ya que reconoce el derecho a la información, a la participación y a la justicia, y pone en escena a la sociedad civil como actor decisivo y activo en temas ambientales.

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, fue adoptada en 1992 y ratificada por 195 países (Partes de la Convención). Ésta reconoce la existencia del problema del cambio climático, lo cual representa un gran avance, su principal objetivo fue lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, con el fin de impedir interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Para hacer operativa y eficiente la aplicación, se establecieron lineamientos que debían aprobarse por las Partes de manera consensuada y que desarrollaban los diferentes artículos de dicha Convención. Estas decisiones y lineamientos se discutieron y aprobaron en la Conferencias de las Partes, en 1995. La Convención sobre el Cambio Climático (sus firmantes) se ha reunido cada año en la llamada Conferencia de las Partes (COP). En ese marco, en 1997, se presentó el Protocolo de Kioto que fue el primer acuerdo internacional en establecer obligaciones jurídicamente vinculantes para los países desarrollados.

En septiembre de 2000, en Nueva York, los países se reúnen para aprobar la Declaración del Milenio²⁶. Se ratifica la importancia de lo *sostenible* como base para el reconocimiento de la necesidad urgente de un crecimiento económico sostenible con un enfoque en los países menos adelantados y el respeto a los derechos humanos. La Declaración, firmada por 189 Estados miembros de las Naciones Unidas, derivó en los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio que se sustentan en acuerdos adoptados en la década de los 90, en conferencias y cumbres de las Naciones Unidas, y se configuraron en un compromiso mundial por reducir la pobreza y el hambre, disminuir las enfermedades, la inequidad entre los sexos, enfrentar la falta de educación, la falta de acceso a agua y saneamiento y detener la degradación ambiental.

En 2012, la ONU organizó la tercera Conferencia sobre el Desarrollo Sostenible, conocida como Río + 20, la cual convocó a 192 Estados miembros, empresas del sector privado, ONG y otras organizaciones. El resultado fue un documento no vinculante llamado *El futuro que queremos*. En él, los Estados renuevan su compromiso al desarrollo sostenible y a la promoción de un futuro sustentable.

El “Acuerdo de París” de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, aprobado en diciembre de 2015, representa un hito histórico para enfrentar el cambio climático. El Acuerdo entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, treinta días después de la fecha establecida para que al menos 55 partes de la Convención, que representan al menos el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero mundiales, hubiesen depositado sus instrumentos de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión con el depositario del Acuerdo. A la fecha, 158 países se han ratificado, de un total de 197 naciones que hacen parte de la Convención. Se espera que los miembros enfoquen su desarrollo hacia la sostenibilidad desde todos los aspectos, con menores emisiones y con capacidad de adaptarse. El Acuerdo entrará en vigencia a partir del 2020. El cambio climático se aborda de manera integral en el documento, con transversalidades como la justicia climática, los Derechos Humanos, la equidad de género entre otros temas. El objetivo general planteado hace referencia a mantener el incremento de la temperatura global muy por debajo de los 2 °C, y establece “proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C”. El acuerdo es jurídicamente vinculante para los países firmantes y espera financiarse con fondos cercanos a los US\$100.000 millones para los países en desarrollo a partir de 2020. El compromiso de Colombia es reducir el 20% de sus emisiones de gases de efectos de invernadero para el año 2030.

La declaración de los Líderes del G20²⁷ “Dando forma a un mundo interconectado”, de julio de 2017, señala lo siguiente con respecto al tema de cambio climático: “Tomamos nota de la decisión de los Estados Unidos de América de retirarse del Acuerdo de París. Estados Unidos de América anunció que cesará inmediatamente la aplicación de su actual contribución a nivel nacional y afirma su firme

²⁶ <http://www.un.org/spanish/milenio/ares552.pdf>

²⁷ El G20 es un foro internacional de los gobiernos y gobernadores de los bancos centrales de las 20 mayores economías del mundo.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



compromiso con un enfoque que reduce las emisiones al tiempo que apoya el crecimiento económico y mejora las necesidades de seguridad energética. Los Estados Unidos de América indican que se esforzarán por trabajar en estrecha colaboración con otros países para ayudarles a acceder y utilizar los combustibles fósiles de manera más limpia y eficiente, y ayudar a desplegar fuentes renovables y otras fuentes de energía limpia, dada la importancia del acceso y la seguridad energética en sus contribuciones.

Los líderes de los otros miembros del G20 afirman que el Acuerdo de París es irreversible. Reiteramos la importancia de cumplir con el compromiso ante la ‘Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de los países desarrollados’, de proporcionar medios de implementación que incluyan recursos financieros para asistir a los países en desarrollo con respecto a las medidas de mitigación y adaptación en consonancia con los resultados de París y tomar nota del informe de la OCDE “Inversión en el Clima, Inversión en el Desarrollo”. Reafirmamos nuestro firme compromiso con el Acuerdo de París, avanzando rápidamente hacia su plena aplicación de conformidad con el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas y capacidades respectivas, teniendo en cuenta las diferentes circunstancias nacionales y, con este fin, estamos de acuerdo con el Plan de Acción del Clima y la Energía para el Crecimiento del G20...”

El combate al cambio climático va de la mano con la mejora de la calidad del aire, debido a que ambos problemas tienen como una de sus causas fundamentales la quema de combustibles fósiles. En este sentido, las acciones para mitigar el cambio climático en términos de la disminución de gases de efecto invernadero conlleva, entre otras implicaciones positivas, a una menor quema de combustibles y a su vez a la generación de menores emisiones de contaminantes del aire que afectan la salud. Más allá, la quema de combustibles fósiles conlleva a la generación de contaminantes como Carbono Negro (BC) que forman parte de las partículas respirables más finas, que además de causar daño a la salud humana también tienen un efecto de calentamiento climático como se explicará en la 4.3.1.

Por otro lado, el 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. Los ‘Objetivos de Desarrollo Sostenible’ representan un modelo que define prioridades para el desarrollo, incluyen 17 objetivos con 169 metas. Su finalidad es resolver los problemas sociales, económicos y medioambientales que afectan a los más pobres del mundo y finalizar lo que ha quedado pendiente con los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

En 2016 inició el proceso de implementación de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, el plan que contiene la agenda está basado en los mencionados 17 objetivos, que abordan los desafíos del planeta, y representan el conjunto de directrices que propenden por el progreso, económico, social y sostenible, buscando integrar y equilibrar las tres dimensiones del desarrollo sostenible económico social y ambiental.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Producido en colaboración con TROLLBACK + COMPANY | TheGlobalGoals@trollback.com | +1.212.520.1010
Para cualquier duda sobre la utilización, por favor comuníquese con: dpcampaigns@un.org

Fuente: Naciones Unidas, Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015)

Naciones Unidas afirma que los Objetivos de Desarrollo Sostenible tienen una visión más amplia que los Objetivos de Desarrollo del Milenio, en el sentido de que tratan las causas fundamentales de la pobreza y propenden por la inclusión de grupos vulnerables, lo que implica no sólo a los *países en vías de desarrollo*, sino que todos harán parte fundamental de esta mirada hacia el mundo futuro, mediante un proceso abierto y con bases que se cimientan en la participación.

El desarrollo tal como todavía se plantea en el mundo, con el consiguiente aumento de los niveles de depredación de recursos naturales y la contaminación, siguen estructuralmente vinculados, terminan siendo partes de un todo complejo, que evidencia un razonamiento en el cual está inmerso gran parte del mundo moderno, y que prioriza la racionalidad económica desbordada por encima de cualquier otro recurso que sea vital para la supervivencia en el planeta.

En el marco del presente plan surge entonces la pregunta acerca de cómo estos objetivos, que contienen una nueva mirada inclusiva y que son necesariamente el resultado de años de historia en el tema ambiental a nivel mundial, propenden por la calidad del aire como asunto fundamental. **El tercer**

ODS, “garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades”, incluye una meta específica de reducción de la contaminación. (3.9) “Reducir sustancialmente para 2030 el número de muertes y enfermedades como consecuencia de productos químicos peligrosos y de la contaminación del aire, el agua y el suelo”. Esta meta se configura como un gran reto a nivel mundial ya que implica tomar medidas desde todos los frentes posibles, para desacelerar un proceso que hemos alimentado durante años. “La calidad del aire constituye un tema de preocupación mundial que obedece al continuo crecimiento de la población y a las deficiencias estructurales en el desarrollo sostenible industrial y del sector transporte en los principales centros urbanos. Su importancia radica en los efectos sobre la salud, que implican pérdidas económicas y un deterioro en la calidad de vida de la población”. (IDEAM, 2012, pg.181). Otra referencia explícita al aire, está en el Objetivo 11 “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”, específicamente en la meta 11.6 que señala: “De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo”. Más allá, las consideraciones y vínculos de calidad del aire con la agenda de desarrollo sostenible están presentes en otros ODS, además del 3 y el 11, particularmente el 7 (Energía asequible y no contaminante), el 9 (Industria, innovación e infraestructura), el 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), el 12 (Producción y consumo responsables), 13 (Acción por el clima), 15 (Vida de ecosistemas terrestres), 16 (Paz, justicia e instituciones sólidas), y 17 (Alianzas para lograr los Objetivos).

Según cifras de la Organización Mundial de la Salud, un 90% de la población urbana no respira aire limpio y los niveles de contaminación han aumentado en un 8% a nivel mundial de 2008 a 2013 (OMS 2016). Ante este panorama se hace necesario que desde todos los países y en todos los niveles, al interior de cada país, se trabaje de manera articulada, generando sinergias que permitan avanzar para alcanzar la meta propuesta, frenando la contaminación y reorientando las economías hacia vías de desarrollo sostenible, propiciando la incorporación de tecnologías limpias entre otras estrategias.

El derecho internacional, así como los diferentes tratados y acuerdos constituyen un marco invaluable que define la ruta a seguir a nivel mundial, sin duda alguna compromete a los países a transitar un camino hacia la sostenibilidad que es más que necesario, no obstante, hay que continuar aterrizando las metas a las realidades locales, estableciendo metodologías que permitan alcanzar estas metas y sobre todo ampliar el espectro de la sostenibilidad de manera que permee otro tipo de intereses, logrando por medio de la inclusión de todos los actores darle fuerza a temas como la calidad del aire, toda vez que los efectos en la salud son latentes. La contaminación atmosférica actualmente “se reconoce como uno de los mayores desafíos ambientales que deben enfrentar las ciudades de hoy” (Franco, 2011, pg. 193).

RESOLUCIONES INTERNACIONALES ESPECÍFICAS EN MATERIA DE CALIDAD DEL AIRE

En la Asamblea de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente celebrada en junio de 2014 en Nairobi, los delegados de los países miembros acordaron unánimemente promover que “los gobiernos establezcan estándares y políticas a través de múltiples sectores para disminuir la contaminación del



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



aire y gestionar los impactos negativos de la contaminación del aire sobre la salud, la economía y en general sobre el desarrollo sostenible”²⁸. La Asamblea subrayó que la contaminación del aire es un tema prioritario que requiere acción inmediata de la comunidad internacional.

Por su parte, la Asamblea de la Salud Mundial de las Naciones Unidas adoptó en mayo de 2015 una resolución para hacer frente a los impactos de la contaminación del aire, la cual subraya el papel de las autoridades nacionales de salud en el desarrollo de la conciencia acerca del potencial que tiene una efectiva atención al problema de la contaminación del aire para salvar vidas y reducir los costos de salud²⁹. También enfatiza la necesidad de alcanzar una fuerte colaboración entre los sectores y la integración de las preocupaciones de los efectos a la salud de la contaminación atmosférica en todas las políticas nacionales, regionales y locales relacionadas con la calidad del aire. Además urge a todos los Estados miembros, a desarrollar sistemas de monitoreo para mejorar la vigilancia de todas las enfermedades relacionadas con la contaminación del aire, además de promover estrategias para abatirla, así como fortalecer el intercambio internacional de experiencias, tecnologías y conocimiento científico en materia de contaminación del aire.

En América Latina y el Caribe, el XIX Foro de Ministros del Ambiente de la Región celebrado en Los Cabos, México en 2014 adoptó la Decisión N. ° 8 sobre el Plan de Acción Regional sobre Contaminación Atmosférica³⁰, el cual establece directrices comunes a corto, mediano y largo plazo, para los miembros de la Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica Latina y el Caribe, con el objeto de reducir la contaminación atmosférica en la región y mitigar la emisión de contaminantes prioritarios y disminuir de forma sustancial su impacto a nivel local, regional y mundial. La importancia de este Plan de Acción fue refrendada por el XX Foro de Ministros del Ambiente de América Latina y el Caribe, celebrado en Cartagena en 2016, a través de la Decisión N. ° 9³¹.

ORDENAMIENTO AMBIENTAL TERRITORIAL Y LA CALIDAD DEL AIRE EN LAS CIUDADES

Al plantear los asuntos ambientales necesariamente debemos referirnos a una interacción entre dos sistemas: el que comprende nuestras actividades, inmersas en lo que podemos llamar un sistema cultural y los ecosistemas naturales, de los cuales dependemos para soportar nuestra supervivencia. Mientras que el ecosistema natural obedece a un orden que garantiza la conservación de la vida, el sistema cultural es construido por los seres humanos. Es este sistema cultural en donde es posible proponer un orden (Maya A., 1996). No obstante, no es posible entender estos órdenes en sus partes, sino como un todo que interactúa, generando un nuevo cuerpo que debe de ser entendido de manera sistémica (ibid.).

²⁸ <http://www.unep.org/transport/astf/events/air-pollution-priority-united-nations-environment-assembly>

²⁹ <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/wha-26-may-2015/en/>

³⁰ <http://www.pnuma.org/forodeministros/19-mexico/documentos.htm>

³¹ http://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/Decision_9_de_Calidad_del_Aire_Adoptada.pdf



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



El sistema cultural, es planteado como una estrategia adaptativa de la especie humana (Maya A., 1996). Una parte importante de nuestras acciones transforma los ecosistemas naturales, a veces de manera dramática, como por ejemplo al urbanizar, al desarrollar actividades agropecuarias y al efectuar explotaciones mineras. Al urbanizar el medio natural pierde sus características iniciales, la vegetación es removida, el suelo es impermeabilizado con la pavimentación de las vías y la construcción de edificaciones, cortando las dinámicas propias del ecosistema natural que originalmente se encontraba en la zona de vida donde se asienta este proceso. Otro tanto sucede con las actividades agropecuarias donde la sucesión vegetal propia de los ecosistemas naturales, se reemplaza por monocultivos extensivos con la proliferación asociada de especies que llamamos “plagas”, y para controlarlas utilizamos los plaguicidas, provocando un daño mayor sobre los suelos y otros elementos naturales que son los propiciadores de la vida. Con las actividades mineras, la transformación del medio natural es bastante fuerte, especialmente con la minería llamada “a cielo abierto”, que consiste en remover absolutamente el medio natural vegetal, el suelo y parte del subsuelo, rompiendo totalmente los ciclos naturales y provocando contaminación de fuentes de agua y del aire.

El avance cultural o civilizatorio se basa en actividades que transforman los ecosistemas naturales (Maya A., 1996). Las crisis ambientales son crisis civilizatorias, que para superarlas no basta con los avances tecnológicos, aunque algunos nos ayuden a solucionar problemas de contaminación generados por nuestras actividades. Más allá, se requiere un cambio cultural profundo, modificar nuestra manera de hacer las cosas y cambios en la organización social y en nuestra interpretación simbólica. Un cambio cultural implica una modificación en nuestro comportamiento.

El uso del suelo significa la ubicación y distribución de actividades y estructuras físicas dentro de un territorio determinado. El uso del suelo puede brindar a la población, una comunidad más habitable y un entorno de trabajo productivo (CARB, 2003).

El uso del suelo puede mejorar las condiciones para el desarrollo sostenible de una comunidad, estimular el desarrollo de viviendas asequibles y preservar los barrios residenciales, revitalizar las áreas económicamente deprimidas, distribuir equitativamente los recursos públicos, conservar los recursos naturales, proveer una adecuada infraestructura y servicios públicos, y reducir la congestión del tráfico (CARB, 2003).

No obstante, algunos usos del suelo pueden generar o aumentar la contaminación del aire, afectando la salud de la población. Esta situación se presenta cuando grandes o numerosas fuentes de contaminación (de transporte, industriales y comerciales), se ubican en la proximidad de zonas residenciales u otras instalaciones sensibles a la contaminación atmosférica como escuelas, hospitales, hogares geriátricos e instalaciones deportivas. Cuando esto ocurre, tanto las poblaciones afectadas como las empresas locales pueden sufrir consecuencias negativas en forma de mayores costos para la salud pública y el control de la contaminación (CARB, 2003).



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Tradicionalmente, con el fin de minimizar el riesgo de salud y seguridad para las comunidades, los diferentes usos de la tierra fueron zonificados (o localizados) según clasificaciones separadas. Estos desarrollos de uso único a veces dieron lugar a islas desconectadas de actividad que también llevó a impactos ambientales. Por ejemplo, la expansión urbana se ha caracterizado por patrones de desarrollo de un solo uso (casas unifamiliares), seguidas de viviendas multifamiliares más densas (y en el caso del Valle de Aburrá ubicadas en las laderas), seguidas de usos comerciales y de oficinas, y de usos industriales. La expansión indujo al tráfico de vehículos privados como la única opción viable de transporte, generando altos costos ambientales, económicos y sociales propios. Esta dependencia hacia los vehículos de motor ha dado lugar a que éstos se conviertan en la fuente más grande de la contaminación atmosférica en el mundo (CARB, 2003).

Incluso el desarrollo de "crecimiento inteligente", en el que el uso mixto equilibra la vivienda, los usos comerciales y las actividades recreativas y culturales, puede conducir a impactos de la contaminación del aire. Esto puede ocurrir cuando las actividades comerciales o fuentes indirectas se concentran cerca de áreas residenciales o lugares sensibles del receptor sin las medidas de mitigación apropiadas (CARB, 2003).

Algunas categorías de usos de la tierra no emiten directamente contaminantes del aire sino que atraen a las fuentes vehiculares que lo hacen. Estas fuentes indirectas incluyen almacenes, paradas de camiones, terminales de autobuses, centros comerciales, parques empresariales, etc. El potencial de riesgo elevado para la salud, aumenta si la fuente indirecta es atendida por camiones diésel que aumenta las partículas tóxicas en la zona; debido al aumento del tráfico, el ralentí de los camiones en el lugar y las emisiones de las unidades de refrigeración montadas en camiones. Las comunidades que viven cerca de estos tipos de instalaciones pueden tener altos niveles de contaminantes tóxicos en el aire, debido a las altas concentraciones de emisiones asociadas al diésel de los camiones y generadores portátiles. Estos temas son considerados como parte integral en el diseño del PIGECA.

En este capítulo se ha esbozado un panorama general de la problemática de la calidad del aire a escala mundial, que contextualiza la situación en Colombia y en el Valle de Aburrá. Entre otros aspectos, se han descrito los instrumentos de orden internacional que enmarcan las acciones para combatir la contaminación del aire en el contexto de la sostenibilidad, y los grandes desafíos en materia de salud pública y combate al cambio climático, entre otros. En los capítulos 2 al 5 se describirá la problemática específica en el Valle de Aburrá como preámbulo la definición de objetivos, metas y estrategias del PIGECA. En el Capítulo 5, en particular se describe el marco de políticas y regulación de la gestión de la calidad del aire en Colombia, que complementa al análisis internacional realizado en este capítulo.

2 EMISIONES A LA ATMÓSFERA: SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAS

En este capítulo se presenta un análisis de las emisiones contaminantes generadas en el Valle de Aburrá, así como de las fuerzas motrices. En primer lugar, se describen la localización y crecimiento histórico del Valle de Aburrá, relevantes para comprender dichas fuerzas motrices y posteriormente, los principales factores demográficos, sociales y económicos que las caracterizan y su relación con las emisiones en los sectores de transporte, industria y servicios. En segundo lugar, se analizan la magnitud y características de las emisiones, a partir de los inventarios de emisiones disponibles.

Fuerzas motrices de la contaminación del aire en el Valle de Aburrá

En esta sección se presenta un análisis de algunas de las principales Fuerzas Motrices o factores determinantes que influyen sobre el crecimiento de las emisiones contaminantes en el Valle de Aburrá. La identificación de dichos factores es importante para la evaluación de tendencias y la identificación de políticas y acciones para contener y revertir las tendencias de crecimiento.

Localización y crecimiento histórico del Valle de Aburrá

El Valle de Aburrá está localizado en la cuenca del Río Medellín, sobre la cordillera Central de los Andes y en el centro-sur del departamento de Antioquia (ver Figura 8). Hoy en día, su territorio alberga al municipio de Medellín, capital del Departamento así como a los municipios de Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Envigado, Girardota, Itagüí, La Estrella y Sabaneta. En conjunto, estos 10 municipios conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la cual es una entidad política-administrativa creada en 1980 con el propósito de lograr una integración económica, de proyección y planeación para el desarrollo de dichos municipios³². De acuerdo con el Plan de Gestión Territorios Integrados 2016-2019³³, el Valle de Aburrá tiene una extensión total de 1.157 km², de los cuales 178 km² (15%) corresponden a suelo urbano y 979 km² (85%) a suelo rural. La mayor altura al interior del Valle de Aburrá está en la Serranía de Las Baldías en límites de los municipios de Bello y Medellín, alcanzando los 3.120 m.s.n.m., mientras que la cota más baja sería de 1.130 m.s.n.m., en las márgenes del río Medellín en Barbosa.

A principios del siglo XVII, en este valle fue fundada una pequeña villa llamada “San Lorenzo de Aburrá” que años más tarde se convertiría en la “Villa de Nuestra Señora de la Candelaria de Medellín”. El Congreso Nacional de la República de Gran Colombia designó a Medellín, la capital del departamento de

³² El municipio de Envigado se adhirió al AMVA en 2016.

³³ Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Plan de Gestión Territorios Integrados 2016-2019. Pág. 29.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Antioquia en 1826. Durante siglos, el Valle de Aburrá ha sido el núcleo de una intensa actividad comercial, así como de minería de oro y producción y exportación de café. Hoy día, el Valle de Aburrá alberga a uno de los centros industriales, de servicios y educación más importantes de Colombia y América Latina, el cual ha logrado un amplio reconocimiento internacional por sus logros e innovación en materia de urbanismo, movilidad sostenible y desarrollo social, entre otros temas. Como un ejemplo de estas distinciones, el estatus global de *Smart Cities* de Indra Sistemas, catalogó a Medellín en el año 2014 como una de las mejores ciudades para vivir en América del Sur.

En este importante impulso de modernización y desarrollo, se han materializado importantes proyectos de transporte como los del metro, Metroplús, metrocable, tranvía eléctrico y Encicla, que han permitido mejorar el acceso de toda la población a la ciudad, elevando el bienestar social y reduciendo emisiones. Desde hace unos años, el Valle de Aburrá cuenta con el suministro de diésel con un contenido máximo de 50 partes por millón de azufre, uno de los más bajos en América Latina. También se han emprendido importantes proyectos de producción más limpia con una amplia colaboración del sector industrial.

No obstante, los datos de la red de monitoreo de la calidad del aire, muestran que los niveles de contaminación atmosférica del Valle de Aburrá y sus impactos adversos en la salud están aumentando, como se mostrará en el Capítulo 3 y el Capítulo 4. Ello constituye un importante desafío para la sostenibilidad de la región debido a las serias implicaciones negativas de la contaminación del aire sobre la salud, el ambiente, el bienestar social y el desarrollo económico. A su vez, el combate a la contaminación del aire significa también una gran oportunidad para desacoplar el desarrollo económico del deterioro de la calidad del aire, mediante el reforzamiento de las políticas y acciones que encaminen a la ciudad metrópoli hacia una senda de sostenibilidad en todos los sectores de la economía.

En este capítulo se muestra que las emisiones a la atmósfera generadas por el transporte, la industria y los servicios están aumentando en el Valle de Aburrá, a pesar de los importantes proyectos y acciones realizados en materia de movilidad, producción y control de emisiones, entre otros. Ello se debe a que el ritmo de las actividades relacionadas con cada uno de estos sectores, está aumentando y también al estado de la tecnología y combustibles, utilizados para llevar a cabo dichas actividades.

Específicamente, el aumento de las emisiones de contaminantes puede explicarse a partir de dos grandes grupos de causas complementarias: a) factores de actividad y b) factores de emisión. En el caso del Valle de Aburrá, entre los principales factores de actividad que han propiciado el aumento de las emisiones a la atmósfera se encuentran: el acelerado crecimiento demográfico registrado en las últimas décadas; el aumento de la producción industrial y de las actividades comerciales y de servicios; el aumento de las tasas de motorización; el incremento del número de viajes y distancias recorridas en vehículos automotores, principalmente los de uso individual; y los patrones de ocupación del territorio (orientados a la ladera) que determinan la lejanía relativa de hogares, trabajo y escuelas, entre otros. Por otra parte, se encuentran los factores de emisión, vinculados a la tecnología y los combustibles, entre los cuales destacan: un atraso relativo en el país (frente a otras economías emergentes) en el nivel de exigencia a las especificaciones de emisiones aplicables a vehículos nuevos de todas las categorías

(acoplado a la calidad de los combustibles vehiculares); un alto nivel de emisiones de los vehículos en circulación asociado a prácticas deficientes de inspección, operación y mantenimiento; persistencia de una alta proporción de unidades antiguas, obsoletas y de altas emisiones, particularmente en el caso del transporte colectivo y carga; y bajas tasas de renovación de la flota vehicular, entre otras.

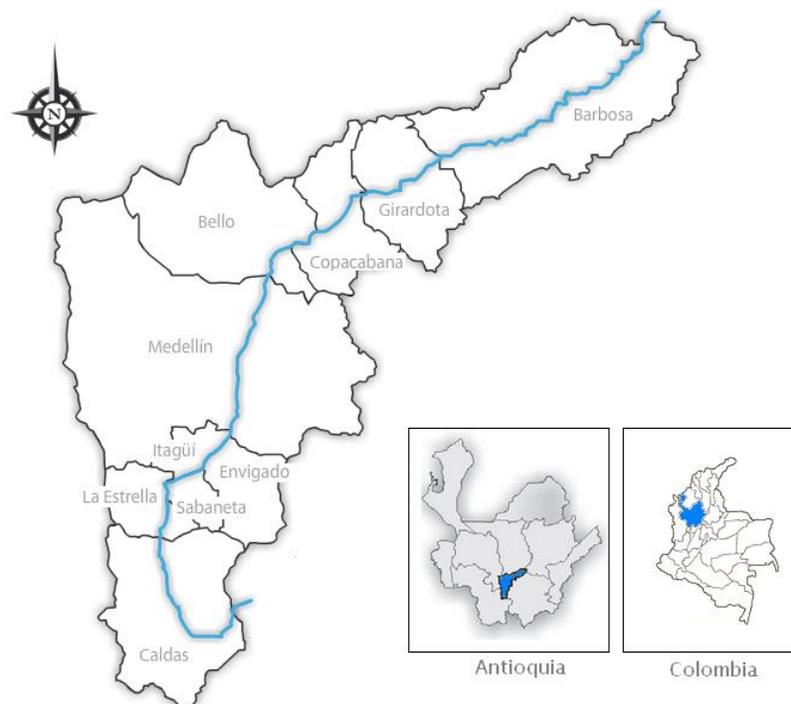


Figura 8. Mapa de Valle de Aburrá y los municipios que la conforman

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá y UPB – Inventario de emisiones de 2011.

Crecimiento y distribución de la población

Se estima que la población del Valle de Aburrá crecerá un 13% entre el 2016 y el 2030, concentrada en los municipios centrales en un patrón de ocupación del territorio orientado a la ladera. De acuerdo con las proyecciones realizadas por el DANE a partir del censo del 2005, la población de los 10 municipios del Valle de Aburrá ascendía a casi 3 millones 822 mil habitantes (AMVA, 2016). Esta población representa un 58,5% del total del Departamento y habita un territorio equivalente al 1,8% de la superficie departamental. El 95% de la población estaría concentrada en la zona urbana de estos municipios y el restante 5% en zonas rurales.

La Comisión Económica para América Latina estima que la población total del Valle de Aburrá llegará a casi 4 millones 400 mil habitantes (un 13% mayor que en la actualidad), a un ritmo de crecimiento de 1% anual en promedio (CEPAL, 2016). Ello mantendrá al Valle de Aburrá en el grupo de áreas



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



metropolitanas de tamaño medio en América Latina. En el crecimiento poblacional señalado, se destaca la consolidación de una región central conurbada, conformada por los municipios de Medellín, Bello, Envigado e Itagüí, que conjuntamente albergarán un 90% del total proyectado para la región metropolitana al 2030, situación que refleja la dinámica poblacional que se genera alrededor de la ciudad central. Los municipios que tendrían una mayor tasa de crecimiento serían Envigado (2,1%), Girardota (2%), Bello (1,7%) y Sabaneta (1,5%). La población urbana seguiría concentrándose llegando a un 95,8% del total (Alcaldía Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y URBAM, 2011). Ver Figura 9.

Por otro lado, en las cabeceras de los corregimientos de Medellín se espera un incremento mayor al registrado en algunos de los municipios de la Región, allí se destacan el crecimiento de los corregimientos Palmitas (4,57%) y San Antonio de Prado (4,06%), fenómeno generado por la búsqueda de nuevos asentamientos en territorios cercanos a la ciudad capital (CEPAL, 2016). Ver Figura 10. La dinámica poblacional señalada, concentrada principalmente en las zonas urbanas, representa una mayor demanda de bienes y servicios y de energía, que a su vez incrementa las necesidades de transporte en los municipios del Valle de Aburrá.

Ahora bien, desde una mirada más amplia, otro fenómeno importante que se viene presentado en el departamento de Antioquia, es el proceso de integración entre tres zonas geográficas adyacentes: el Valle de Aburrá, el Valle de San Nicolás y el Valle del río Cauca. Este proceso se ha facilitado con obras de infraestructura como el Túnel de Occidente y la construcción en marcha del Túnel de Oriente y las Autopistas de la Prosperidad en proyecto. Entre las infraestructuras que han propiciado la conexión de los tres valles están, el Aeropuerto Internacional José María Córdoba y diversos asentamientos empresariales en torno al aeropuerto y sobre el corredor de la autopista Medellín-Bogotá. "...Los nuevos asentamientos empresariales que se están dando en el entorno del aeropuerto de Rionegro y sobre el corredor de la Autopista Medellín-Bogotá, son una clara evidencia de la importancia de esta nueva tendencia en el esquema económico y territorial de Antioquia y los tres valles..."³⁴. Esta situación ha generado un fenómeno de dispersión de las dinámicas del Valle de Aburrá hacia otras zonas pero a su vez ha sido complementario con el desarrollo de la misma región. Particularmente con el Valle de San Nicolás, se presenta un movimiento industrial, agrícola, laboral y de estudio, mientras que con el Valle del río Cauca hay un mayor dinamismo turístico (Alcaldía de Medellín y Universidad de Antioquia, 2012).

³⁴ "Estructura de Desarrollo económico y territorial para los Valles de Aburrá, San Nicolás y Occidente cercano. El Territorio de la economía" (2011). pg. 18.

Área metropolitana del Valle de Aburrá: proyecciones de población total, 1985-2030

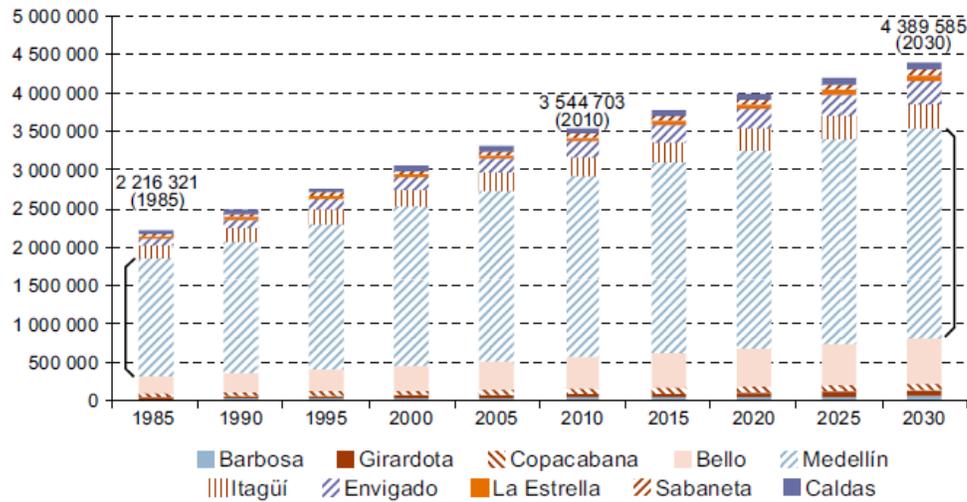


Figura 9. Área Metropolitana del Valle de Aburrá: proyecciones de población total, 1985 – 2030

Fuente: CEPAL, 2016.

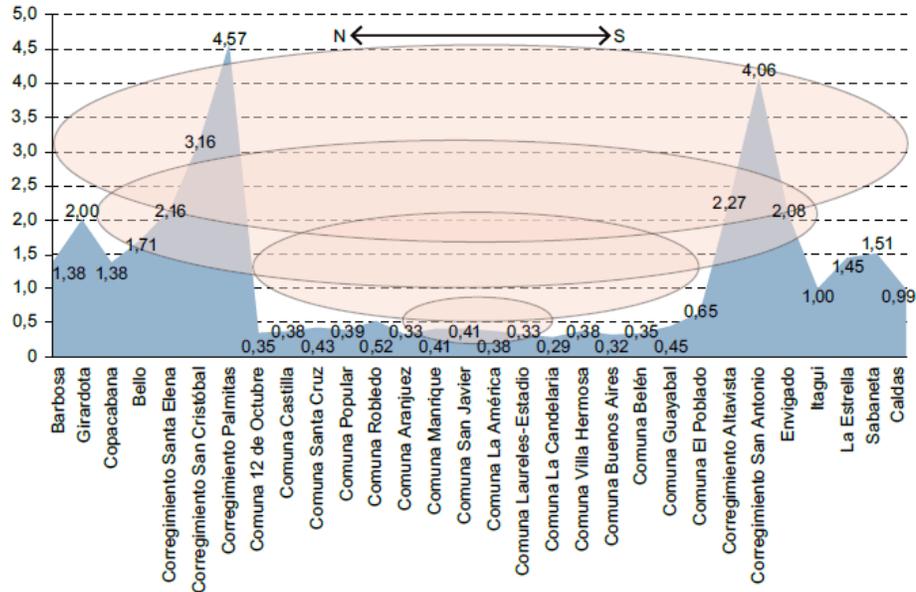


Figura 10. Área Metropolitana del Valle de Aburrá: contornos de crecimiento, 2010 – 2030 (en porcentajes)

Fuente: CEPAL, 2016.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Más allá, los patrones de crecimiento y ocupación del territorio reflejan una alta densidad poblacional en la ladera y menor en la parte plana del valle donde se encuentran localizados los principales bienes y servicios. La dispersión de la mancha urbana, el crecimiento de las fuerzas económicas y sociales generan una mayor demanda de recursos, entre ellas el transporte para garantizar los desplazamientos de personas y de bienes y servicios entre estas regiones del Valle de Aburrá. Asimismo, se requiere establecer políticas de ocupación del suelo, así como lineamientos de zonificación, distancias y lineamientos ambientales para los diversos usos del suelo.

Densidad urbana

Para el año 2016, el Valle de Aburrá tiene características de población predominantemente urbana y densamente poblada, llegando a 3.342 hab./km² en promedio, incluyendo tanto al área urbana como a la rural, siendo una de las Áreas más densamente pobladas de Colombia (Plan de Gestión 2016 – 2019 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá). La densidad urbana es de 20.714 hab./km² y la rural de 183 hab./km². Con el incremento poblacional del 13% al 2030, y su concentración en las zonas urbanas, se espera que se genere mayor presión sobre el territorio y por tanto, que se generen más necesidades de desarrollo urbano sustentable.

PIB y Equidad

Comportamiento del PIB

En Colombia, el Valle de Aburrá es la segunda aglomeración urbana de mayor tamaño y la segunda economía regional más grande del país con una participación del 14% del PIB Nacional, en ambos casos después de Bogotá. Se estima que el PIB de la región crecerá a una tasa de 7,3% y las exportaciones al 17% promedio anual en los próximos años. Para 2030 se espera que estén consolidadas estrategias económicas y de competitividad que fortalezcan el rol productivo y competitivo del Valle de Aburrá. Entre esas estrategias se encuentran la conformación de clústeres para aprovechar los beneficios de la integración colaborativa, conquista de nuevos mercados, modernización tecnológica, mejora de la calidad de vida urbana y la creación de un ambiente de innovación (Alcaldía Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y URBAM, 2011).

Según datos reportados por la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia (2012), a diciembre de 2011, del total de empresas registradas en las Cámaras de Comercio de Antioquia (132.999), el 71,5% están ubicadas en el Valle de Aburrá; y de éstas, el 78,84% están dedicadas a actividades comerciales y de servicios, y 89% son microempresas (Figura 11). De igual manera, el Valle de Aburrá es la región con más alta densidad empresarial de Antioquia, 26.2 empresas por cada mil habitantes.

Es así como en el Valle de Aburrá se observa una tendencia hacia la transformación de los patrones de industrialización, y un aumento de la participación en el PIB de actividades como telecomunicaciones, energía, hotelería y turismo, servicios financieros, construcción de obras civiles y transporte (Alcaldía Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y URBAM, 2011). Al igual que el crecimiento poblacional, el empresarial que reporta el Valle de Aburrá genera una mayor presión y demanda de recursos, particularmente del transporte, lo cual hace necesario la implementación de políticas sociales, económicas y ambientales que garanticen un crecimiento sostenible en la Región.

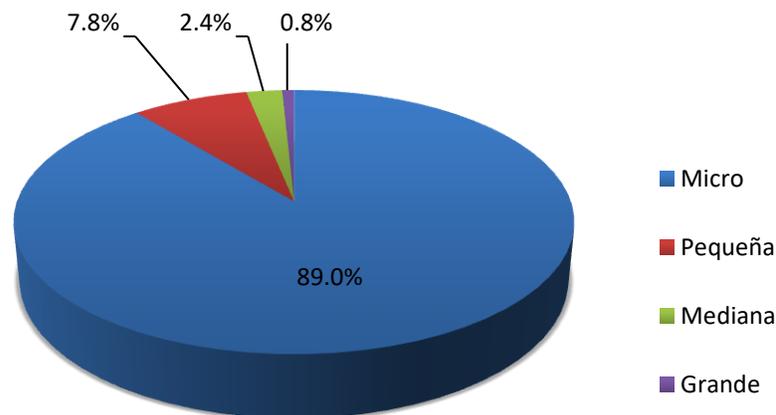


Figura 11. Empresas por tamaño en el Valle de Aburrá

Fuente: Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2012.

Equidad

La Región Metropolitana del Valle de Aburrá ha venido presentando una reducción en los niveles de pobreza y pobreza extrema, mostrando una tendencia similar a la de otras áreas metropolitanas del país. En el caso de pobreza, la reducción entre 2008 y 2013 fue de 8.9 puntos porcentuales, pasando de una incidencia del 25% en 2008 al 16,1% en 2013; mientras que en pobreza extrema, la disminución fue 61% al 3,0% en el mismo periodo (Municipio de Medellín, 2015).

En cuanto a la desigualdad, el Informe de Calidad de Vida de Medellín 2012-2015 señala que la región metropolitana comprendida por Medellín y los otros municipios del Valle de Aburrá mostró, en ese periodo, “una reducción del 2.2% en el índice de GINI, pasando del 0.5 a 0.489”, lo cual implica una

menor concentración del ingreso de la población al término de dicho período³⁵. El informe de 2016 señala que esta tendencia positiva se mantuvo, mostrando un descenso de la desigualdad de los ingresos en Medellín y la región metropolitana del Valle de Aburrá en el período 2012-2015. “Entre 2015 y 2016 el índice de GINI se redujo en un 2,25%, ubicándose en 0.478”, señala dicho informe. Agrega que esta reducción fue la mayor entre las más importantes ciudades del país. El estudio atribuye esta tendencia al incremento en “la participación de los ocupados en el mercado laboral con formación técnica tecnológica, quienes pasaron de representar el 19,2% en 2014 al 21,9% en 2016”. Cabe recordar que en el año 2008 la región metropolitana del Valle de Aburrá era la región de mayor desigualdad, dentro de las principales áreas metropolitanas y se ubicaba por encima del promedio de las trece áreas (Municipio de Medellín, 2015).

El Informe de Calidad de Vida de Medellín 2012-2015 señala que el Índice Multidimensional de Condiciones de Vida (IMCV)³⁶ mostró una reducción de 2,5% en las brechas entre comunas, entre 2012 y 2014³⁷. El informe explica que esta reducción estuvo jalonada principalmente por los avances en la disminución de desigualdades en escolaridad e ingresos. El informe agrega: “...En cuanto a la pobreza y la pobreza extrema, ambas mostraron reducción durante el periodo 2012-2015; en el caso de la primera se redujo casi un 20%, nivel similar al de las 13 áreas metropolitanas, ubicándose en 14,3% en 2015; en el caso de la segunda, la reducción fue menor e inferior a la obtenida por el promedio de las tres áreas, ubicándose en 3,3% en 2015”.

Por otra parte, el Informe de Calidad de Vida de Medellín 2016 reitera que “es posible evidenciar una tendencia descendente de las brechas entre comunas en el Índice Multidimensional de Condiciones de Vida, al igual que una reducción en las brechas entre el entorno rural y el urbano. Entre 2010-2016 la mayor reducción en las brechas entre comunas se dio en la dimensión de ingresos, en consonancia con la evolución del índice de GINI durante este periodo, seguida de la dimensión de capital físico del hogar, mientras las dimensiones que menos redujeron sus brechas entre territorios fueron la vulnerabilidad (condiciones de habitabilidad y carga económica del hogar) y el entorno y calidad de la vivienda. De forma positiva, las tasas de pobreza y pobreza extrema siguieron con la tendencia descendente. Así, entre 2015 y 2016 la tasa de pobreza se redujo un 1,6%, ubicándose en 14,1%, aunque esto significó en términos absolutos, para Medellín, un aumento en 13.150 personas más entre ambos años. Por su parte, la tasa de pobreza extrema pasó, de 3,3% en 2015 a 2,9% en 2016, siendo la mayor reducción entre las principales ciudades y áreas metropolitanas en el país.

³⁵ El índice de GINI es una medida de economía que representa la distribución del ingreso o la riqueza de una región o un país. Entendiendo que un índice GINI de cero implica la perfecta igualdad, esto es, que todos los individuos tienen el mismo ingreso, y un índice de uno implica la mayor desigualdad, es decir solo un individuo posee todos los ingresos en un tiempo de análisis dado.

³⁶ El Índice Multidimensional de Condiciones de Vida es un Indicador útil para estimar las condiciones de vida de los hogares antioqueños mediante un conjunto de 40 variables relacionadas en 15 dimensiones. El indicador asigna a cada hogar un puntaje que varía entre cero y cien: A medida que el valor del índice aumenta, las condiciones de vida del hogar mejoran.

³⁷ <http://www.medellincomovamos.org/download/informe-de-indicadores-objetivos-sobre-la-calidad-de-vida-en-medellin-2012-2015/>



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



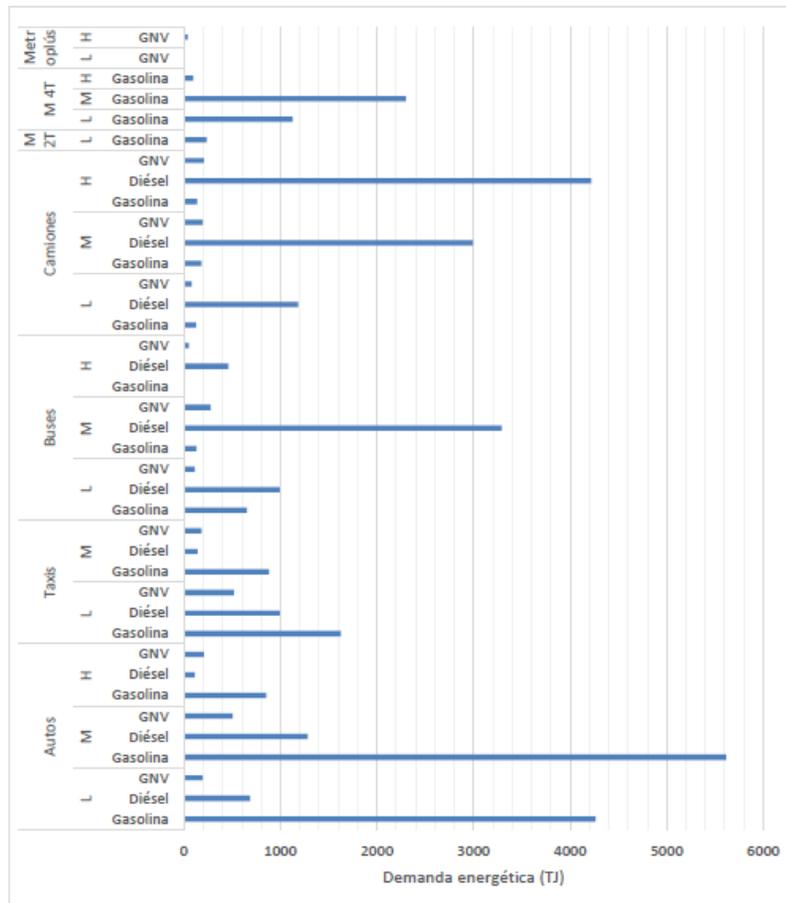
Diversas investigaciones muestran que las personas con menor status socioeconómico pueden tener un mayor riesgo a la contaminación del aire en las ciudades³⁸, de tal forma que mejoras en los ingresos podrían significar también una reducción de dicho riesgo. El incremento de los ingresos contribuye al mejoramiento de la dinámica económica regional, generando una mayor capacidad adquisitiva, lo cual incrementa la demanda de bienes y servicios. Si bien por una parte este crecimiento puede contribuir a mejorar la calidad de vía, también significa una mayor presión sobre los recursos naturales, el aumento en el consumo de energía, la contaminación ambiental y, en particular, el deterioro de la calidad del aire.

Consumo de energía

Combustibles de uso vehicular

Los automóviles medianos y livianos a gasolina, representan el mayor consumo de energía, seguido por el consumo de diésel de los camiones pesados y medianos, y de los buses medianos. Las motocicletas de 4 tiempos medianas y los taxis livianos tuvieron un importante consumo de gasolina. (Ver Figura 12).

³⁸ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1757025/pdf/v058p00003.pdf>



* L: Light - M: Medium - H: Heavy - M2T: Moto 2 tiempos - M4T: Moto 4 tiempos

Figura 12. Demanda energética por categoría vehicular, tamaño y combustible, año 2013

Fuente: Inventario de emisiones del Valle de Aburrá - 2014. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Pontificia Bolivariana, 2015.

Consecuente con lo anterior, los mayores demandantes de energía del parque automotor del Valle de Aburrá son los automóviles con un 43,5% de participación, seguido por los camiones 16,9% y los buses con un 15,5% (Figura 13).

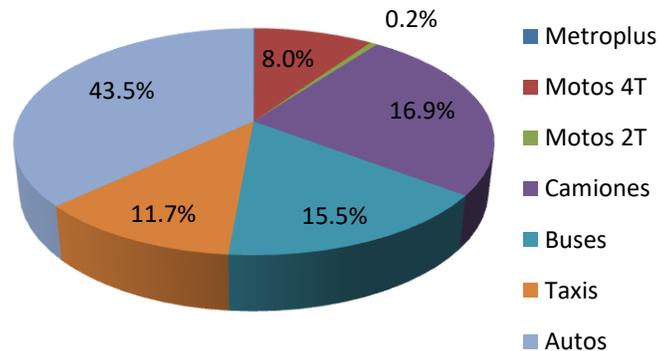


Figura 13. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2015

Fuente: Inventario de Emisiones del Valle de Aburrá - 2015. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Pontificia Bolivariana, 2015. Elaboración propia.

Combustibles de uso industrial

La demanda energética industrial ha ido avanzado hacia la utilización del gas natural como principal fuente de energía (58,8%), teniendo como principales usuarios al sector residencial e industrial. Sin embargo, el consumo de carbón mineral es todavía significativo en los procesos productivos de algunas empresas (37,4%), la mayoría de la industria. (Ver Figura 14).³⁹

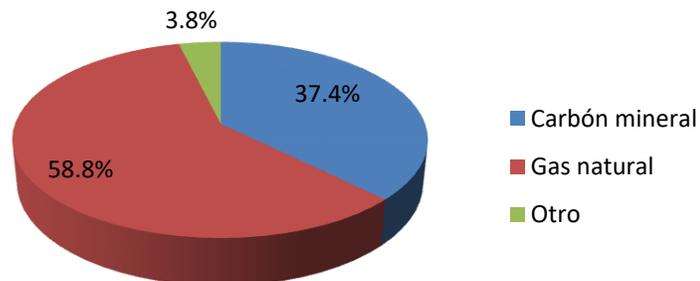
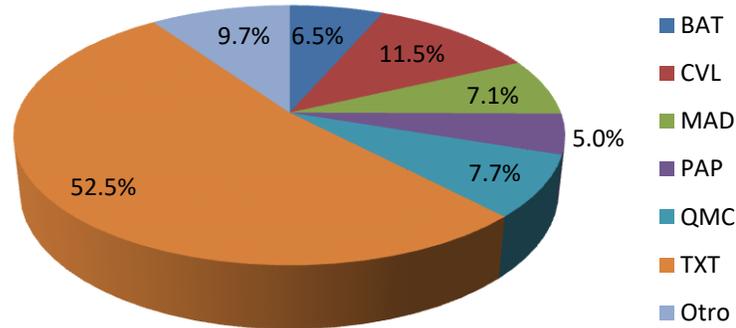


Figura 14. Distribución de la demanda energética (TJ/año) de las fuentes fijas del Valle de Aburrá, año 2014

Fuente: Inventario de emisiones del Valle de Aburrá - 2014. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Pontificia Bolivariana, 2015. Elaboración propia.

³⁹ El AMVA en convenio con la UPB actualizó el inventario de emisiones de fuentes fijas al año base 2016. Sin embargo, no estuvo disponible para el momento de elaboración del presente estudio, toda vez que fue entregado en febrero de 2017.

El sector industrial que tiene una mayor demanda energética es el sector textil 52,4%. Los otros sectores tienen una menor participación que oscila entre el 5% y el 11,5% (Ver Figura 15).



BAT: Bebidas, Alimentos y Tabaco; **CVL:** Cerámicos y vítreos; **MAD:** Aserrios, depósitos de maderas; **PAP:** Papel, Cartón, Pulpa e Impresión; **QMC:** Químico; **TXT:** Textil y de Confección, **OTR:** Otras Industrias.

Figura 15. Demanda Energética por Sector Industrial (TJ/año), año 2014

Fuente: Inventario de Emisiones del Valle de Aburrá - 2014. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Pontificia Bolivariana, 2015. Elaboración propia.

Dinámica de la actividad económica y urbana

Transporte

2.1.1.1.1 Antecedentes

En 2007, la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá presentaron el informe final del estudio “Evaluación de Alternativas para la Planeación Energética Sostenible de los Sectores Industrial y de Transporte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”⁴⁰ en el marco del Convenio 612 del 2005. Este estudio constituye un modelo de metas de

⁴⁰ Universidad Nacional de Colombia y Área Metropolitana del Valle de Aburrá. “Evaluación de Alternativas para la Planificación Energética Sostenible de los Sectores Industrial y Transporte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”. Convenio 612 de 2005.

mejora de la calidad del aire tomando en cuenta variables ambientales, económicas y, en particular, las de transporte. Entre las conclusiones del estudio destacan las siguientes:

- La eficiente integración modal del sector transporte al interior del Valle de Aburrá sugiere ventajas económicas significativas.
- Dicha eficiencia está relacionada con: a) la racionalización del transporte privado individual (motos, autos y taxis) y b) al fomento de los medios de transporte colectivo (Sistemas metro, metrocable, Metroplús y rutas de transporte colectivo público), teniendo al sistema metro como el eje estructurante del sector transporte local. Ello conlleva a un menor consumo de combustible y por lo tanto a una menor generación de contaminantes atmosférica en beneficio de la salud de los habitantes.

El estudio propuso al Gas Natural Vehicular como la alternativa tecnológica a la que debería tender el parque vehicular local, incluyendo al sistema Metroplús, debido a que los resultados del análisis mostraron beneficios económicos y ambientales superiores a los de otros combustibles y opciones tecnológicas. No obstante, el estudio señala que dichos resultados dependen de los escenarios de proyección de costos considerados.

Por otra parte, el estudio también determinó que el sistema Metroplús significaría un beneficio económico, energético y ambiental para el Valle de Aburrá, sujeto a una adecuada selección de opciones tecnológicas disponibles para la satisfacción de la demanda de movilidad de este nuevo sistema de transporte. Así, se determinó que una flota de buses impulsados con Gas Natural Vehicular representaría la alternativa más económica y la de menores emisiones de material particulado, Óxidos de Nitrógeno y Compuestos Orgánicos Volátiles.

En relación con el parque vehicular local, el estudio concluye que el crecimiento de motos, autos y *pick-up* requiere ser controlado para impedir un crecimiento desproporcionado.

2.1.1.1.2 Situación actual y tendencias

En el 2012, año de la última Encuesta Origen y Destino disponible⁴¹, en el Valle de Aburrá la distribución modal de los viajes era 44% en transporte público, 26% en transporte particular, 27% eran viajes no motorizados (26% caminando y 1% bicicleta) y 3% otro medio para movilizarse. De estos viajes, el 33%

⁴¹ Actualmente el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se encuentra realizando la Encuesta Origen y Destino 2017. Los datos generados serán de gran importancia para actualizar el diagnóstico de la situación actual y la evaluación de tendencias.

se concentran de 6 a 8 a. m. y de 5 a 7 p. m. según los datos reportados en la Encuesta Origen y Destino Hogares 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Municipio de Medellín, 2012). (Ver Figura 16).

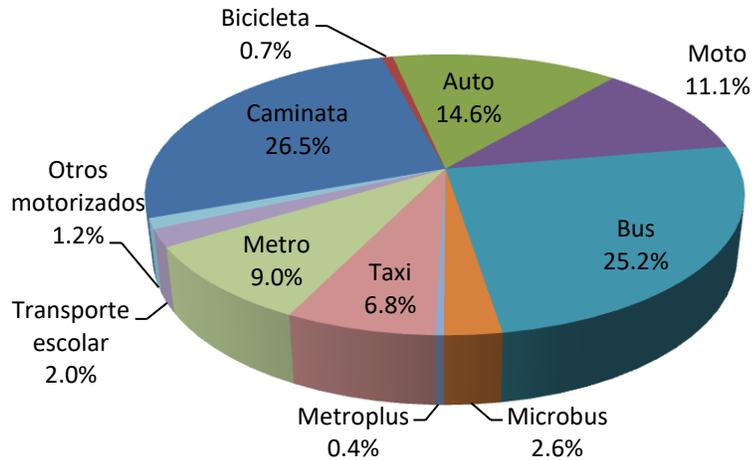


Figura 16. Distribución modal de los viajes en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Fuente: Encuesta Origen Destino de Hogares para el Valle de Aburrá 2012. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Municipio de Medellín y UNAL, 2012.

Los tiempos de viaje están aumentando. En el 2012 fueron de 33 minutos, 30% por encima del tiempo promedio que en el año 2005 era de 25 minutos. En viajes motorizados el tiempo promedio de viaje fue 39 minutos. El metro por sus rutas alimentadoras que transportan el 50% de los usuarios es el modo de transporte con mayor tiempo de viaje (Figura 17).

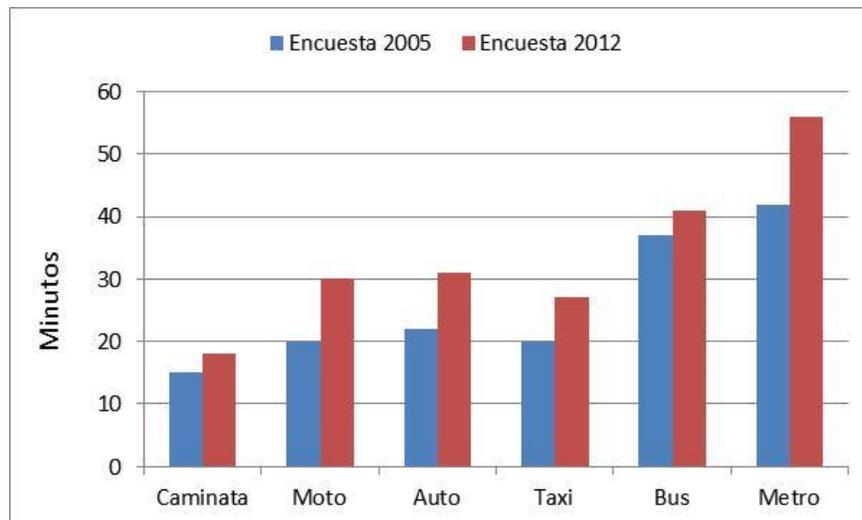


Figura 17. Tiempos de viaje para el Valle de Aburrá

Fuente: Encuesta Origen y Destino Hogares 2012. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Municipio de Medellín, 2012.

En la Figura 18 se observa que los taxis, y los buses de Metroplús recorren una mayor distancia en promedio anualmente, seguidos por los buses y camiones. En cuanto a los vehículos particulares, las motos recorren un mayor kilometraje en promedio anualmente que los automóviles. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y UPB, 2015).

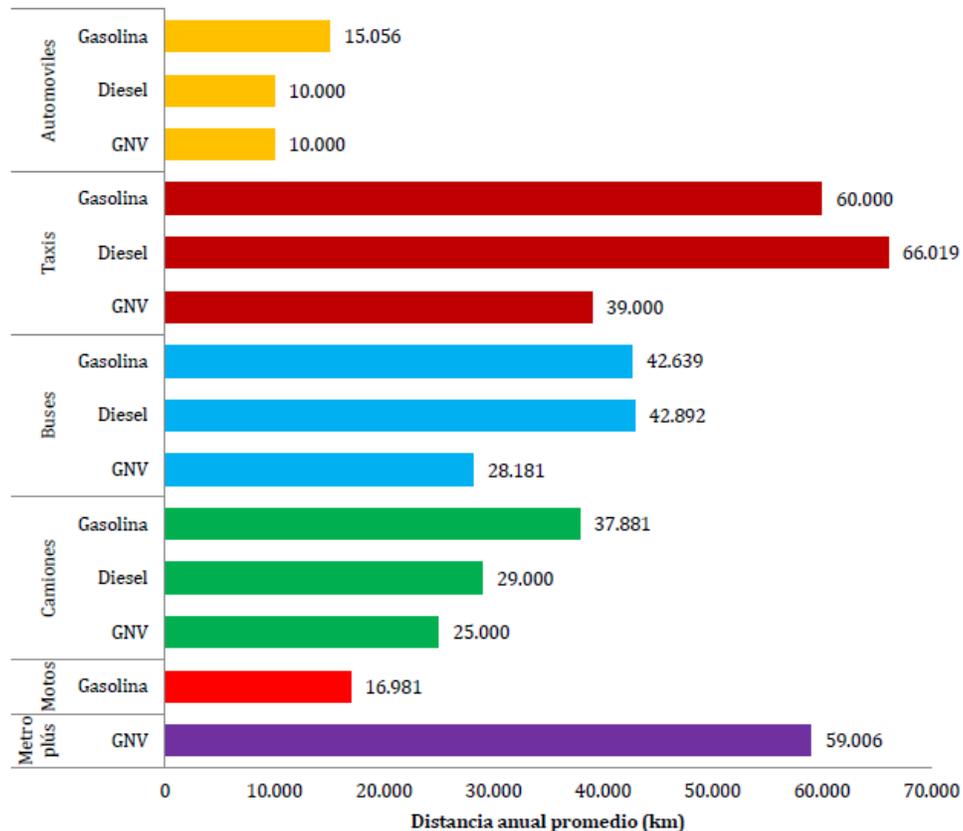


Figura 18. Kilometraje promedio anual recorrido por los vehículos en el Valle de Aburrá

Fuente: Inventario de Emisiones del Valle de Aburrá - 2014. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Pontificia Bolivariana, 2015.

Para el año 2015, el parque automotor del Valle de Aburrá estaba conformado por 1.347.736 vehículos, de los cuales la mayoría son motos 53%, seguido de los automóviles 41% (Figura 19).

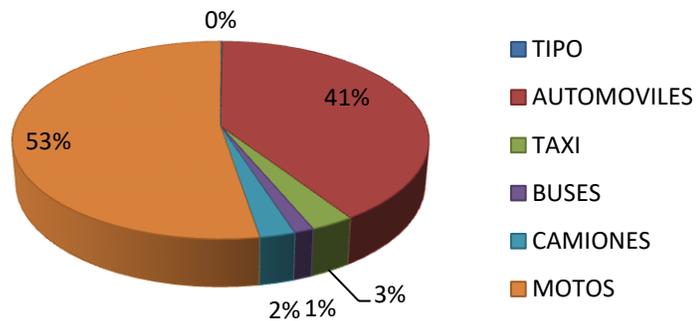


Figura 19. Composición del parque automotor del Valle de Aburrá, año 2015

Fuente: Elaboración con base en datos de la Subdirección de Movilidad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Vehículo particular

La tasa de motorización en el Valle de Aburrá pasó de 98 vehículos/1.000 habitantes en el año 2011 a 350 vehículos/1.000 habitantes en el año 2016, según datos de la Subdirección de Movilidad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Esto permite explicar el incremento del tráfico vehicular, los trancones de tráfico y un aumento en las emisiones de contaminantes criterio y de gases de efecto invernadero.

Tomando la información reportada por la Encuesta Origen y Destino de Hogares 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Municipio de Medellín, 2012), en el Valle de Aburrá existen alrededor de 220.000 vehículos en uso en los hogares, sin contar los de uso comercial e institucional. El 44% de los vehículos de la región están concentrados en las comunas de Medellín: Poblado, Laureles y Belén y sumando el municipio de Envigado, el 57% de los autos están concentrados en menos del 20% de la población de la región (Figura 19).

Según datos obtenidos de la Cámara de la Industria Automotriz, a agosto de 2016, en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se venden anualmente el 13% de las motos del país y el 15,7% de los vehículos.

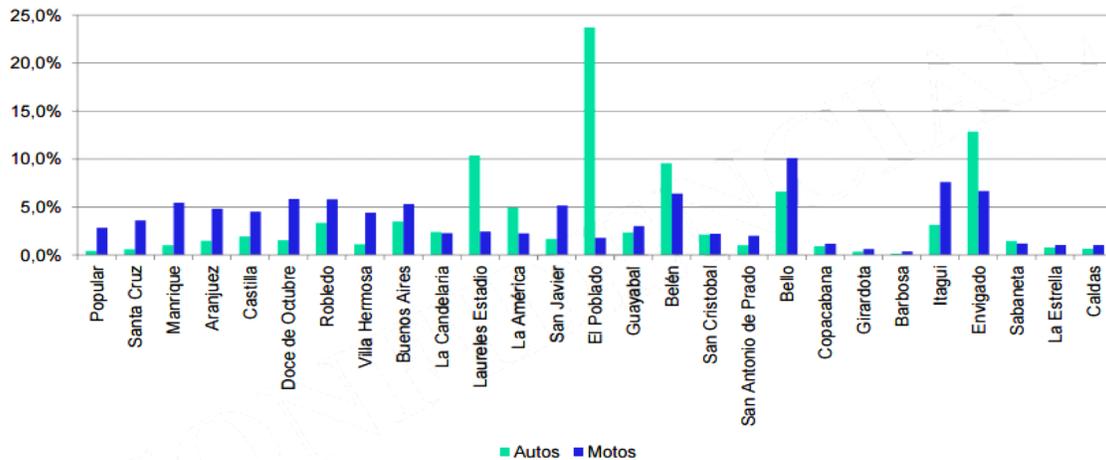


Figura 20. Parque automotor en hogares por comunas y Municipios

Fuente: Encuesta Origen y Destino de Hogares 2012. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Municipio de Medellín, 2012.

El 25,7% de los viajes se realizan en transporte particular, la tasa de ocupación de los autos es de 1,39 personas/vehículo y de las motos es de 1,24 personas/vehículo (Encuesta Origen Destino de Hogares - Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Municipio de Medellín, 2012). Esto indica que este medio de transporte es subutilizado de acuerdo a la capacidad instalada y por tanto, debido a que la mayoría del parque automotor está conformada por este tipo de vehículos (90,9%), responsables de generar ineficiencia en el sistema de movilidad de pasajeros, contribuyendo a la generación de externalidades como congestión, contaminación atmosférica y accidentalidad.

En la Figura 21, se observa el crecimiento proyectado de la flota vehicular, el cual presenta un crecimiento acelerado de los autos y de las motos. Un acelerado crecimiento en el número de vehículos en circulación puede resultar en la saturación de la malla vial e incremento en la accidentalidad (CAI, 2013).

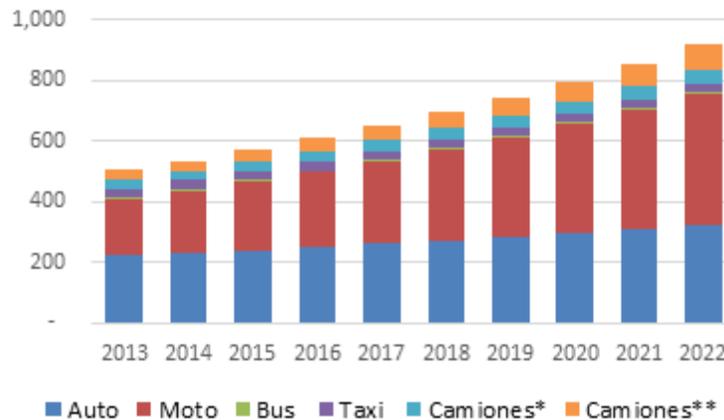


Figura 21. Crecimiento anual proyectado de la flota vehicular 2013-2022

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Clean Air Institute, con base en Aplicación del Modelo de Cuatro Etapas EMME 3.

Vehículo de pasajeros

De la distribución modal de los viajes, un 64,4% se lleva a cabo en modos sustentables. El 44% se realizan en transporte público, desglosado así: transporte público colectivo (bus y microbús) 27.8%, transporte público masivo (metro y Metroplús) 9.4% y transporte público individual (taxi) 6.8%. Adicionalmente, la tasa de ocupación de los buses (bus, buseta, micro) es de 18 pasajeros/vehículo y de los taxis es 1.68 personas/vehículo (taxi con carrera). (Encuesta Origen y Destino de Hogares, 2012). (Ver Figura 16).

El tiempo promedio de viaje en los sistemas de transporte público colectivo es de aproximadamente 40 minutos y en transporte masivo es de aproximadamente 56 minutos; mayor que el tiempo promedio de viaje en el Valle de Aburrá (33 minutos) (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Municipio de Medellín, 2012). El tiempo de traslado tiene un impacto directo en el uso del transporte particular. Por lo tanto, es importante analizar estrategias que permitan mejorar dichos tiempos en el transporte público, incluyendo paradas de los buses en sitios autorizados y la utilización del carril exclusivamente para buses.

En la Figura 22 se observan las tendencias en el uso del transporte público (TP), vehículo privado (VP), motos (MT) y taxis (TX), que muestran una reducción en el uso del transporte público colectivo y un incremento del transporte particular. Conforme a los análisis realizados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá mediante la aplicación del Modelo de Cuatro Etapas EMME 3, en el 2030 solamente el 40% de la población se movería en transporte público colectivo, esto contando con las inversiones o proyectos que están en marcha en este momento como: metrocable, ampliación de las líneas del metro,

el tranvía de la 80, el tren de cercanías, entre otros. Entre los factores que explican esta tendencia se encuentran:

- Aumento en la propiedad y uso de vehículos privados
- Limitado aumento de la oferta y opciones de transporte público
- Modos alternativos estigmatizados
- Planeación del transporte orientada al automóvil
- Planeación del uso del suelo orientada al automóvil
- Patrones de ocupación concentrados en las laderas
- Creciente proceso de suburbanización hacia los alrededores del Valle de Aburrá
- Suministro de parqueo generoso

Un factor determinante de las preferencias de modos de transporte es la velocidad de traslado. Las diferencias en el promedio de velocidad comercial del transporte público (alrededor de 12 km/h en el 2012) frente a la velocidad de vehículos de uso privado (30 km/h ese mismo año).

Todos estos factores deben ser tomados en consideración en la definición de planes y proyectos de mejora de la calidad del aire, movilidad y desarrollo urbano. Tal es el caso del PIGECA.

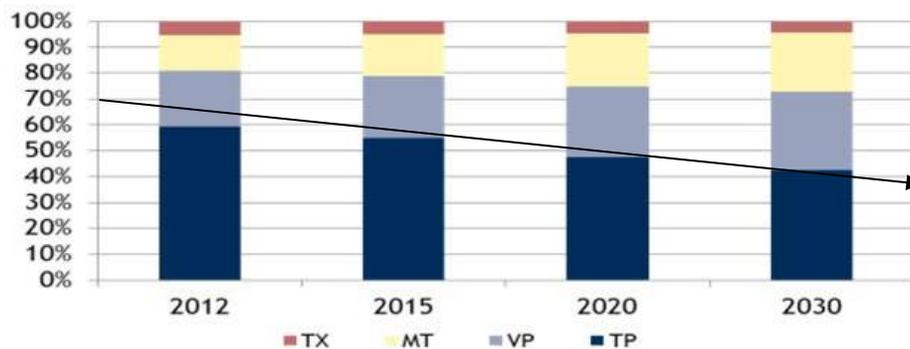


Figura 22. Porcentaje de viajes por modo de transporte. Escenario con Implementación de todos los planes y proyectos previstos – optimista

Fuente: Elaboración con base en Aplicación del Modelo de Cuatro Etapas EMME 3.

A pesar de que la mayoría de la población se mueve en modos sustentables transporte público o en transporte no motorizado (64,4%), el crecimiento y la participación mayoritaria del transporte particular en el total del parque automotor, junto con la baja tasa de ocupación de estos vehículos, generan externalidades negativas sociales, ambientales y económicas que afectan la calidad de vida de la población en su conjunto.

Vehículos de carga

Según cifras de la Encuesta Origen Destino de Carga 2012, el 90% de los vehículos utilizan diésel (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Municipio de Medellín, 2012). Por otra parte, el 40% de los vehículos pertenece al conductor, el 36% a un tercero y un 24% a la empresa de carga. De estos vehículos, el 70% está afiliado a una empresa de transporte. En el Valle de Aburrá se mueven 102 mil toneladas diarias, distribuidas en 84 mil toneladas en el día y 18 mil toneladas en la noche. El 28% de la carga se mueve en camiones tipo C4 (camión de cuatro ejes), seguido por el camión C3 (camión de tres ejes doble troque) con un 23%, el camión C2 grande (eje de atrás con doble llantas grandes) transporta el 13% de la carga y un 6% es transportado por camiones C2 pequeño.



Figura 23. Tipos de vehículos utilizados para movilizar carga

Fuente: Encuesta Origen y Destino de Hogares 2012. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Municipio de Medellín, 2012.

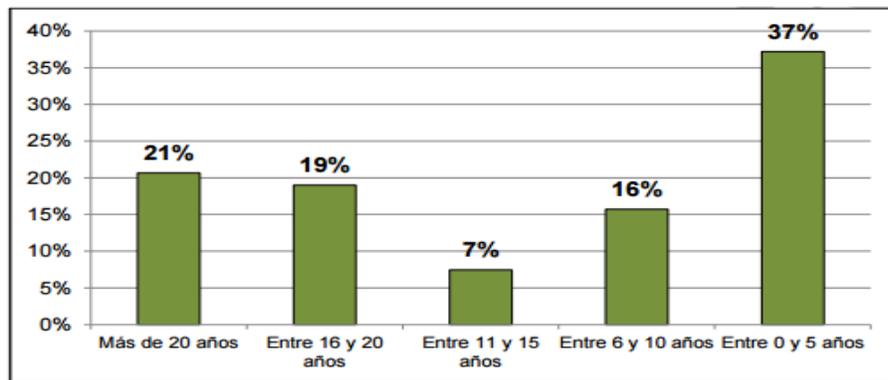


Figura 24. Edad de la flota de transporte de carga en el Valle de Aburrá

Fuente: Encuesta Origen Destino de Carga para el Valle de Aburrá, 2012. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Municipio de Medellín, 2012.

Un 40% de los vehículos registrados de carga tenían más de 15 años en el 2012 de acuerdo con la encuesta Origen y Destino de Carga para el Valle de Aburrá de ese año (Figura 24). Es previsible que la nueva edición de la encuesta programada para 2017, podría encontrar un parque vehicular aún más envejecido dada la limitada renovación de la flota ocurrida desde el 2012. Los vehículos de mayor edad están asociados con un estrato tecnológico para el cual aún no se habían establecido regulaciones de emisiones y éstas eran altamente permisivas. Por lo tanto, por desgaste como por tecnología, los camiones y volquetas de mayor edad emiten mayores emisiones contaminantes y son menos eficientes energéticamente que vehículos más recientes. Asimismo, la mayoría de los camiones circulan en el Valle de Aburrá durante las horas pico de tráfico vehicular y el 77% de los vehículos prestan sus servicios de lunes a sábado; lo cual resulta en una mayor congestión, contaminación y consumo de combustible, lo cual a su vez se traduce en pérdida de tiempo y económica para estas empresas.

Industria

Según datos reportados por la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia (2012), del total de empresas ubicadas en el Valle de Aburrá el 19,7% corresponden al sector industrial, es decir, 18.696 empresas. La industria en el Valle de Aburrá está concentrada principalmente en los sectores: textil y de confecciones, sustancias y productos químicos, bebidas, alimentos y tabaco.

Principales características de la planta productiva

Como se ha mencionado, la mayoría de las empresas ubicadas en el Valle de Aburrá son microempresas (89%). El 37,4% de las industrias utilizan carbón mineral como combustible, convirtiendo este sector en el principal generador de contaminación por SOx. Estas empresas en su mayoría presentan a su vez un



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



rezago en la implementación de sistema de control de emisiones debido a la mala calidad del combustible.

Tendencias de la actividad industrial

El Informe de Coyuntura Económica Regional de 2015 (DANE, 2016) señala que la industria manufacturera en el Valle de Aburrá completó 4 años de débil desarrollo, situación que contrasta con la tendencia a nivel mundial. Es así como en el Valle de Aburrá se encuentran dos de las empresas textiles más tradicionales y antiguas del país, Coltejer y Fabricato, y que han tenido un aporte significativo en la producción de tejidos en Colombia. Sin embargo, en los últimos años, flagelos como la competencia desleal, el contrabando, la subfacturación y la lenta reconversión tecnológica han afectado no solamente este sector sino también actividades como confecciones, cuero y calzado.

Las actividades tradicionales de la industria del Valle de Aburrá presentan variaciones en su tasa de crecimiento según la dinámica económica regional anual. De esta manera, según los datos presentados en el Informe de Coyuntura Económica Regional de 2015, para este año los principales crecimientos industriales en producción se presentaron para los productos textiles 29%, minerales no metálicos 9,9%, por otro lado, la actividad industrial de mayor decrecimiento fue hierro y fundición -28.7% (DANE, 2016). Mientras que para 2014, las actividades industriales con crecimientos destacados en la producción fueron: bebidas 15,4%, productos químicos 12%, sustancias químicas básicas 11,1% y alimentos preparados para animales 9,1% (DANE, 2015). De otro lado, las mayores disminuciones se presentaron en vehículos automotores y remolques -10,4%.

Comercio y servicios

Según datos reportados por la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia (2012), del total de empresas ubicadas en el Valle de Aburrá, el 78,84% corresponden a empresas de comercio y servicios, es decir, 74.972 empresas. En el Valle de Aburrá tienen mayor relevancia, según el número de empresas, las siguientes ramas de la actividad económica en su orden: comercio, actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler, hoteles y restaurantes, actividades de servicios comunitarios, sociales y personales; transporte, almacenamiento y comunicaciones e intermediación financiera. Vélez (2014) argumenta que la transformación hacia el sector servicios del Valle de Aburrá, puede ser generada por el proceso de industrialización por emigración de las empresas de esta región hacia el Valle de San Nicolás. Esta tendencia también es evidenciada por la dinámica en la generación de empleo, que resulta ser protagonista en las actividades comerciales y de servicios.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Emisiones a la atmósfera

En el contexto del marco DPSIR (Fuerzas Motrices – Presión – Estado – Impacto – Respuesta), el concepto “presión” hace referencia al resultado que las Fuerzas Motrices tienen sobre el ambiente, en este caso particular en relación con la calidad del aire. Las dinámicas de transporte, desarrollo industrial y socio económicas de la región que se presentaron en el capítulo anterior constituyen en conjunto fuentes de generación de emisiones contaminantes, que al liberarse a la atmósfera propician el deterioro de la calidad del aire. Los inventarios de emisiones son el instrumento de gestión de la calidad del aire que sistematiza la estimación de la magnitud de estas presiones, identificando sus principales fuentes y los contaminantes que emiten. La estimación de las emisiones y su representación geográfica constituye un elemento fundamental de la gestión de la calidad del aire.

En esta sección se presenta el análisis de emisiones de contaminantes criterio y de emisiones de gases de efecto invernadero generados en el Valle de Aburrá, el cual se realiza con base en los resultados del Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2016), que al ser detallado en fuentes y contaminantes, permite identificar y cuantificar los aportes de los principales sectores de generación de contaminantes atmosféricos en esta región (transporte, industria, servicios y otros). El Inventario incluye también el análisis de gases de efecto invernadero, que se complementa en este Plan, con los resultados del Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto Invernadero en Colombia (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2016)

Contaminantes atmosféricos

La Evaluación Regional para América Latina y el Caribe del Informe del Medio Ambiente Mundial (GEO-6), reflexiona acerca del hecho que “la atmósfera es una capa delgada y delicada que constituye un vínculo clave entre los seres humanos y los ecosistemas”. Asimismo, destaca que “el papel de la atmósfera en los ciclos biogeoquímicos es vital para mantener al planeta funcionando dentro de las fronteras que permiten a la vida existir en la forma que la conocemos. Las emisiones atmosféricas de origen antropogénico están cambiando la composición natural de la atmósfera a una tasa sin precedente y están conduciendo a impactos en la salud, el ambiente y la economía a escalas local, regional y mundial” (UNEP,2016).

Entre las sustancias que la actividad humana libera a la atmósfera, se encuentran los contaminantes criterio, los cuales fueron el primer grupo de contaminantes estudiados de manera sistemática. Dichos contaminantes incluyen material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$); dióxido de azufre (SO_2); dióxido de nitrógeno (NO_2); monóxido de carbono (CO); compuestos orgánicos volátiles (VOC); plomo (Pb) y ozono (O_3). Debido a la evidencia de sus efectos nocivos sobre la salud y el ambiente; estos contaminantes se encuentran regulados en la normatividad de los países y en las directrices de organizaciones



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



internacionales. Las normas de calidad del aire colombianas establecen las especificaciones aplicables en el país para estos contaminantes.

La emisión de contaminantes atmosféricos tiene una estrecha relación con la emisión de gases de efecto invernadero, particularmente de dióxido de carbono (CO_2), debido a que ambos tipos de sustancias están asociados con la quema de combustibles fósiles. A pesar de que el CO_2 no tiene un impacto directo en la salud, su potencial de calentamiento climático está asociado con diversos impactos en la salud, medio ambiente, sociedad y la economía. Por ello también puede considerarse un contaminante de la atmósfera. Además, las acciones para mejorar la calidad del aire pueden también tener una influencia positiva en la reducción de emisiones de CO_2 como se mostrará en el Capítulo 7, por lo cual el PIGECA también contribuye al logro de las metas nacionales y regionales en materia de mitigación del cambio climático.

Más allá, algunos contaminantes atmosféricos tienen un impacto directo en la salud y además un efecto muy significativo sobre el cambio climático, como se explica en la Sección 4.3.1. Tal es el caso del carbono negro (BC) que tiene un alto potencial de calentamiento de la atmósfera y es un componente de las partículas de hollín asociadas a efectos nocivos para la salud. El hollín es una mezcla compleja de partículas respirables (por debajo del intervalo de las $\text{PM}_{2.5}$) que además de BC también incluye compuestos de carbono orgánico, diversos tóxicos del aire, metales pesados y otras sustancias nocivas.

La Figura 25 ilustra la relación entre las emisiones y sus fuentes, la calidad del aire (incluyendo la dispersión de los contaminantes y procesos de transformación química que dan lugar a la formación en la atmósfera de contaminantes secundarios como el ozono y partículas secundarias) y algunos de los efectos asociados con la exposición a dichos contaminantes.

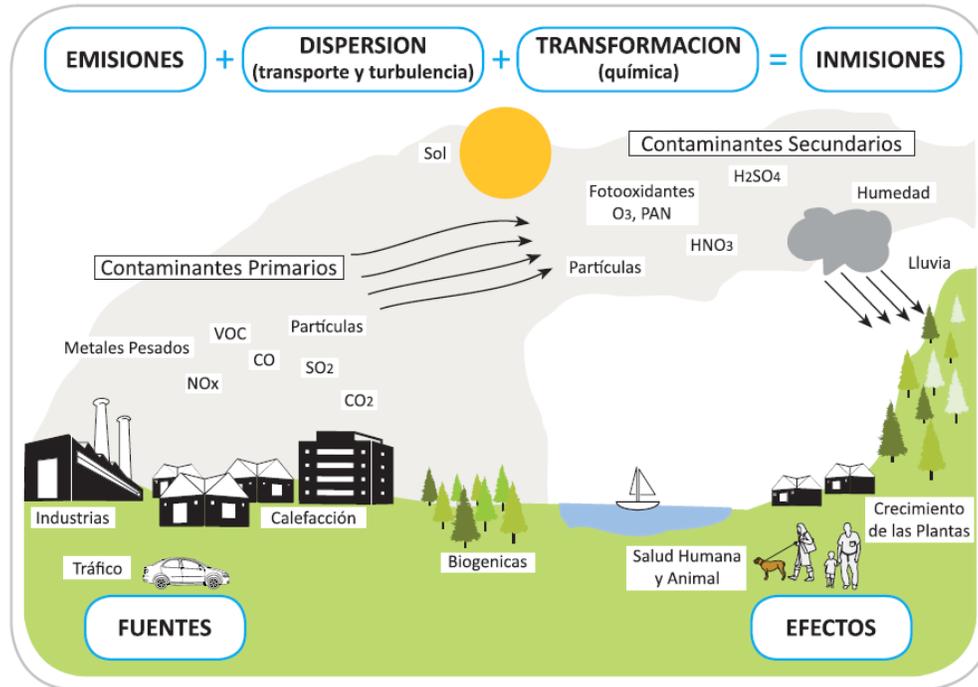


Figura 25. Contaminantes Atmosféricos: fuentes, procesos y efectos

Fuente: Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, (SUR) Universidad de los Andes.

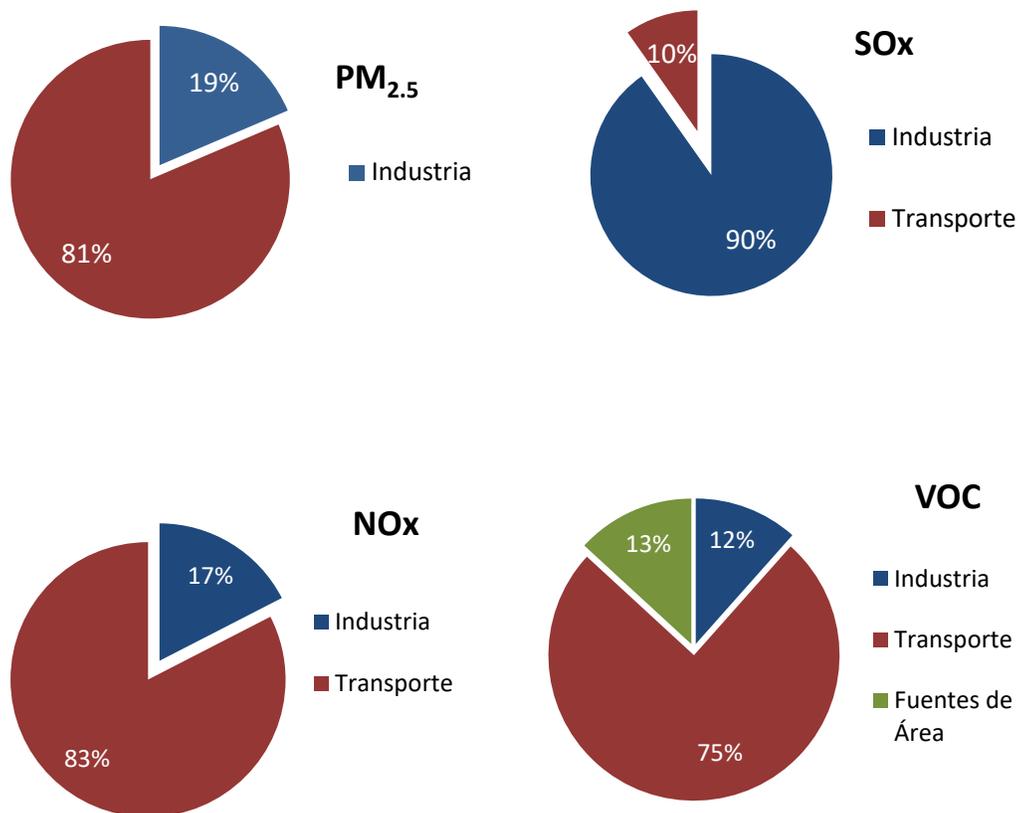
A continuación se presenta un resumen del Inventario de emisiones atmosféricas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el cual integra las emisiones de: PM_{2.5}, NO_x, SO₂, VOC, CO, Carbono Negro y CO₂. El contar con esta visión integral de las sustancias emitidas a la atmósfera en el Valle de Aburrá es de alta importancia para evaluar la situación actual y tendencias de las emisiones a la atmósfera, identificar prioridades de atención y establecer el vínculo entre la política de gestión de la calidad del aire y la de mitigación del cambio climático.

Es conveniente aclarar que la importancia relativa de los contaminantes atmosféricos, no depende exclusivamente de las cantidades totales emitidas sino de la severidad de sus efectos y la dosis y tiempo de exposición. Por ello, cada contaminante debe evaluarse a partir de normas de calidad del aire que establecen límites, tiempos y frecuencias de exposición. Dado lo anterior, se advierte al lector, que las cantidades emitidas de diferentes contaminantes no debe sumarse entre sí, ni asumir la importancia de cada contaminante en función de las cantidades emitidas.

Resumen del inventario de emisiones

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, desarrolla inventarios de emisión desde el año 1996 en convenio con instituciones de educación superior en la región. El Plan Integral de Gestión de la Calidad

del Aire del Valle de Aburrá, se basa en el inventario más reciente desarrollado en colaboración con la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín para el año 2015 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017). El inventario incluye emisiones de fuentes industriales, transporte y fuentes de área. La Figura 26 y la Tabla 1 presentan el resumen de resultados para estas categorías. De acuerdo con estos resultados, la emisión anual de contaminantes en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá es de 1.852 toneladas de $PM_{2.5}$; 18.889 toneladas de NO_x ; 3.494 toneladas de SO_2 ; 15.287 toneladas de VOC y 148.766 toneladas de CO. El sector transporte es el principal aportante a las emisiones de $PM_{2.5}$, NO_x , y CO, mientras que la industria realiza los mayores aportes en SO_2 .



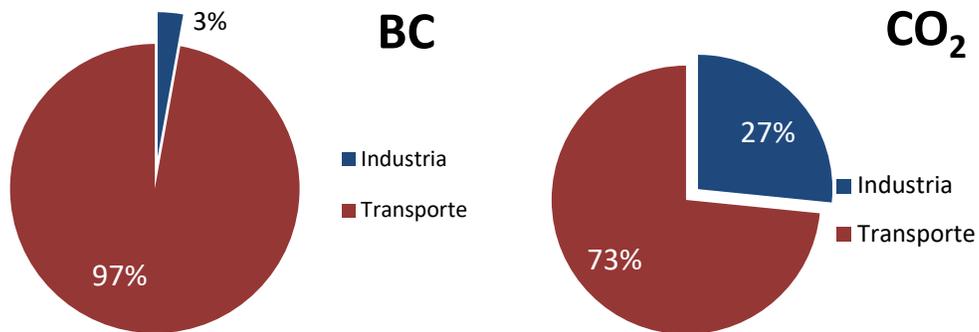


Figura 26. Distribución porcentual de emisiones. Inventario de Emisiones Atmosféricas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017.

Tabla 1. Inventario de emisiones agregado

SECTOR	Emisiones (Ton/año)						
	PM _{2.5}	NO _x	SO _x	VOC	CO	BC	CO ₂
Industria	344	2,979	3,152	1,766	3,214	24	1,125,345
Transporte	1,508	15,910	342	11,510	145,552	826	3,107,155
Fuentes Área	NE	NE	NE	2,011	NE	NE	NE
Total	1,852	18,889	3,494	15,287	148,766	850	4,232,500

Convenciones: NE: No Estimado

Fuente: Inventario de Emisiones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año base 2015. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017).

En la Tabla 2 y la Tabla 3 se presenta el Inventario de Emisiones consolidado por sector y la distribución porcentual de emisiones. En estas tablas se puede observar de manera específica la contribución de los diferentes sectores al inventario de emisiones atmosféricas. Estos resultados se discuten con amplitud en el análisis por tipo de fuentes.

Tabla 2. Inventario de emisiones por consolidad por sector. Año base 2015

SECTOR	Emisiones (Ton/año) -Año Base 2015										
	PM2.5	PM	PM10	BC	SOx	NOx	VOC	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Fuentes Puntuales Total Aporte	344	2,393	1,166	24	3,152	2,979	1,766	3,214	1,125,345	48	137
Bebidas, Alimentos y Tabaco (incluido alimentos para animales)	21	95	36	1	133	193	383	315	75,295	8	1
Textil y de Confección. Procesamiento y producción de textiles. Incluye procesos de teñido	147	1,183	688	14	2,190	1,505	71	1,797	591,386	26	128
Cerámicos y Vitreos; ladrilleras, alfareras, tejares e industrias de cerámica.	34	435	73	0	224	773	264	686	171,409	4	2
Papel, Cartón, Pulpa e Impresión.	25	92	60	0	149	102	3	67	61,968	1	1
Plásticos, Cauchos y Empaques; incluidas reencauchadoras, fabricación y procesamiento de llantas.	1	3	1	0	1	8	455	7	5,047	0	0
Metalmecánico; Fundición y manejo de metales, hierro, metales no ferrosos, producción de maquinaria eléctrica y no eléctrica.	8	161	99	0	51	74	200	69	31,764	1	1
Química; Producción de compuestos químicos, producción de jabones y detergentes, pinturas y resinas.	37	259	91	1	230	164	70	100	93,703	2	2
Cueros; curtimbres y calzado	19	89	56	1	145	69	161	66	23,093	2	0
Derivados del petróleo; Producción y procesamiento asfaltos y emulsiones asfálticas, explotación y tratamiento de triturados.	1	2	2	0	25	30	1	21	31,320	1	1
Terciario; sector terciario, comercial y de servicios que por su actividad posean calderas u hornos eléctricos (hoteles, hospitales, cementerios, lavanderías y otros).	0	0	0	0	1	13	0	11	10,728	0	0
Aserrios, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera.	51	67	60	7	3	27	9	72	24,173	3	2
Otras Industrias. En este sector se agrupan las industrias que no se pueden clasificar según ninguna de las anteriores clasificaciones.	0	7	0	0	0	21	149	3	5,459	0	0
Fuentes Móviles Total Aporte	1,508	NE	NE	826	342	14,293	11,510	145,552	3,107,155	10,850	76
Autos	122	NE	NE	32.4	199	3,655	2,535	50,769	1,330,251	5,667	46
Taxis	33	NE	NE	9.2	43	835	129	2,840	367,436	150	10
Buses	146	NE	NE	88.1	23	3,330	1,083	11,446	457,124	311	9
Camiones	579	NE	NE	353.3	21	4,773	3,102	59,816	548,273	3,847	9
Metroplús	0	NE	NE	0.0	0	2	0	57	5,469	10	0
Tractocamiones	22	NE	NE	16.8	1	337	55	301	40,942	0	1
Volquetas	391	NE	NE	302.0	3	925	226	1,181	84,807	0	1
Motos 2T	17	NE	NE	1.8	1	2	772	1,782	5,218	101	0
Motos 4T	197	NE	NE	22.4	51	433	3,608	17,359	267,635	764	0
Fuentes Area	NE	NE	NE	NE	NE	NE	2,011	NE	0	0	NE
Emisiones de VOC provenientes de la gasolina	NE	NE	NE	NE	NE	NE	1,924	NE	NE	NE	NE
Emisiones de VOC provenientes del diesel	NE	NE	NE	NE	NE	NE	87	NE	NE	NE	NE
Total	1,852	NE	NE	850	3,494	17,272	15,287	148,766	4,232,500	10,898	213
Convenciones: NE: No Estimado											

Tabla 3. Distribución porcentual del inventario de emisiones consolidado por sector. Año base: 2015

SECTOR	Emisiones (%) - Año base 2015										
	PM2.5	PM	PM10	BC	SOx	NOx	VOC	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Fuentes Puntuales Total Aporte	19%	NE	NE	3%	90%	17%	12%	2%	27%	0%	64%
Bebidas, Alimentos y Tabaco (incluido alimentos para animales)	1%	NE	NE	0%	4%	1%	3%	0%	2%	0%	1%
Textil y de Confección. Procesamiento y producción de textiles. Incluye procesos de teñido	8%	NE	NE	2%	63%	9%	0%	1%	14%	0%	60%
Cerámicos y Vitreos; ladrilleras, alfareras, tejaras e industrias de cerámica.	2%	NE	NE	0%	6%	4%	2%	0%	4%	0%	1%
Papel, Cartón, Pulpa e Impresión.	1%	NE	NE	0%	4%	1%	0%	0%	1%	0%	0%
Plásticos, Cauchos y Empaques; incluidas reencauchadoras, fabricación y procesamiento de llantas.	0%	NE	NE	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%
Metalmecánico; Fundición y manejo de metales, hierro, metales no ferrosos, producción de maquinaria eléctrica y no eléctrica.	0%	NE	NE	0%	1%	0%	1%	0%	1%	0%	0%
Química; Producción de compuestos químicos, producción de jabones y detergentes, pinturas y resinas.	2%	NE	NE	0%	7%	1%	0%	0%	2%	0%	1%
Cueros; curtumbres y calzado	1%	NE	NE	0%	4%	0%	1%	0%	1%	0%	0%
Derivados del petróleo; Producción y procesamiento de asfaltos y emulsiones asfálticas, explotación y tratamiento de triturados.	0%	NE	NE	0%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
Terciario; sector terciario, comercial y de servicios que por su actividad posean calderas u hornos eléctricos (hoteles, hospitales, cementerios, lavanderías y otros).	0%	NE	NE	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Aserrios, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera.	3%	NE	NE	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%
Otras Industrias. En este sector se agrupan las industrias que no se pueden clasificar según ninguna de las anteriores clasificaciones.	0%	NE	NE	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Fuentes Móviles Total Aporte	81%	NE	NE	97%	10%	83%	75%	98%	73%	100%	36%
Autos	7%	NE	NE	4%	6%	21%	17%	34%	31%	52%	22%
Taxis	2%	NE	NE	1%	1%	5%	1%	2%	9%	1%	5%
Buses	8%	NE	NE	10%	1%	19%	7%	8%	11%	3%	4%
Camiones	31%	NE	NE	42%	1%	28%	20%	40%	13%	35%	4%
Metroplús	0%	NE	NE	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Tractocamiones	1%	NE	NE	2%	0%	2%	0%	0%	1%	0%	0%
Volquetas	21%	NE	NE	36%	0%	5%	1%	1%	2%	0%	0%
Motos 2T	1%	NE	NE	0%	0%	0%	5%	1%	0%	1%	0%
Motos 4T	11%	NE	NE	3%	1%	3%	24%	12%	6%	7%	0%
Fuentes Área	NE	NE	NE	NE	NE	NE	13%	NE	0%	0%	NE
Emisiones Evaporativas Industriales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	13%	NE	NE	NE	NE
Estaciones de Servicio	NE	NE	NE	NE	NE	NE	1%	NE	NE	NE	NE
Total	100%	NE	NE		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Convenciones: NE: No Estimado



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



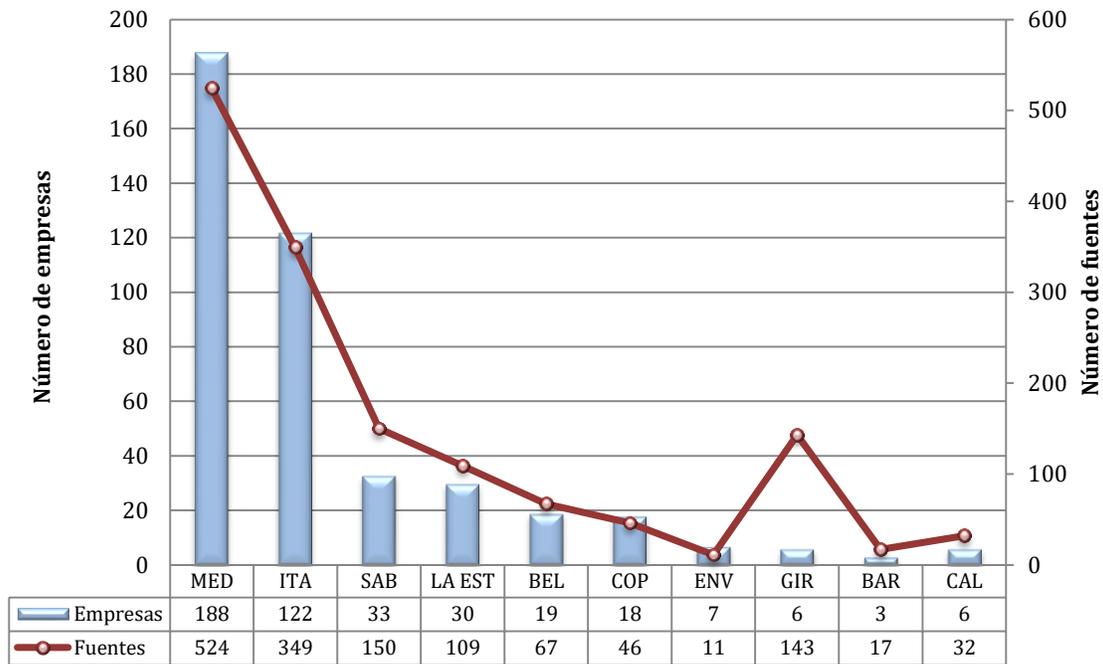
A continuación se presentan los análisis específicos para las diferentes fuentes de emisión:

Emisiones del sector industrial

La estimación de emisiones provenientes de fuentes fijas en el Valle de Aburrá se hace a través de factores de emisión, específicamente los de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés), cuyos resultados son reportados en el AP-42 *'Compilation of Air Pollution Emission Factor'* (U.S Environmental Protection Agency, 1995). Como complemento para algunas actividades industriales, también son usados los de la Agencia Ambiental Europea (EEA, por sus siglas en inglés) en conjunto con el Programa cooperativo para el monitoreo y la evaluación de contaminantes del aire de largo alcance de transmisión (EMEP, por sus siglas en inglés). Además, cuando la fuente de emisión no tiene información suficiente para calcular la emisión con factores de emisión y existe muestreo isocinético de la fuente, se estima la emisión con la concentración de contaminantes medida en el muestreo.

El Inventario de Emisiones de fuentes fijas año base 2015 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá contiene el registro de 432 empresas y 1.448 fuentes de emisión. En la Figura 27 se muestra la distribución del número de empresas por municipio. Como se observa en la gráfica, la mayor parte de las empresas se concentran en los municipios de Medellín e Itagüí con 196 y 124 respectivamente, las cuales en conjunto representan el 68% del parque industrial asentado en el Valle de Aburrá. Los municipios de Sabaneta, la Estrella, Bello y Copacabana poseen poblaciones industriales que fluctúan entre las 18 y 33 empresas, mientras que los municipios de Envigado, Girardota, Barbosa y Caldas cuentan con 7,6,3 y 6 empresas respectivamente.

En términos generales se guarda consistencia entre el número de empresas y el número de fuentes, con excepción de Girardota donde se presenta una mayor densidad de fuentes de emisión por empresa.

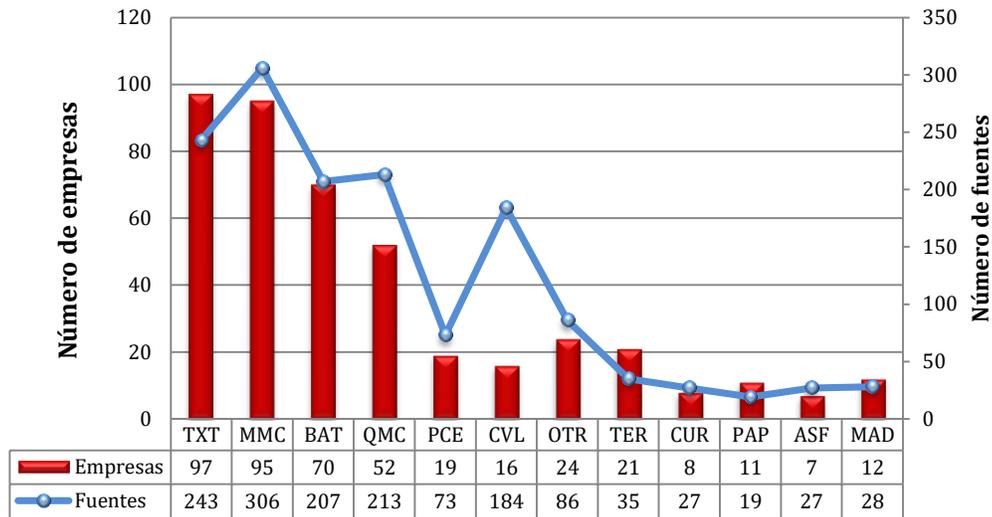


MED: Medellín; ITA: Itagüí; SAB: Sabaneta; LA EST: La Estrella; BEL: Bello; COP: Copacabana; ENV: Envigado; GIR: Girardota; BAR: Barbosa; CAL: Caldas.

Figura 27. Número de empresas y equipos/fuentes por Municipio en el Valle de Aburrá

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá -UPB, 2017.

En lo referente a sectores industriales predominan, la industria textil (TXT) con 97 empresas (22,4%), el metal mecánico (MMC) con 95 establecimientos (22,0%), la industria de bebidas y alimentos (BAT) con 70 plantas (16,2%) y química (QMC) con 52 empresas (12,0%) (Ver Figura 28). En el caso de equipos, estos cuatro sectores predominantes cuentan con 969 fuentes que representan el 67% del total reportado por las empresas del Área Metropolitana.



TXT: textil y confección; MMC: metalmecánico; BAT: bebidas, alimentos y tabaco; QMC: químico; PCE: plásticos, cauchos y empaques; CVL: cerámicos y vítreos; OTR: otras industrias; TER: terciario; CUR: cueros; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; ASF: derivados del petróleo; MAD: aserrios, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera.

Figura 28. Número de empresas y equipos/fuentes por sector industrial (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017)

En la Figura 29 se presenta la distribución porcentual de las emisiones según el tipo de combustible. De acuerdo con los resultados, las fuentes a carbón son la principal fuente de emisión de partículas, óxidos de azufre y representan el 52% de las emisiones de óxidos de nitrógeno. Por su parte las fuentes que operan con gas son los principales aportantes de VOC y representan cerca del 40% de la emisión de óxidos de nitrógeno. Las emisiones de fuentes que utilizan biomasa como combustible representan el 18% de las emisiones de PM_{2.5} y el 24% de la emisión de VOC.

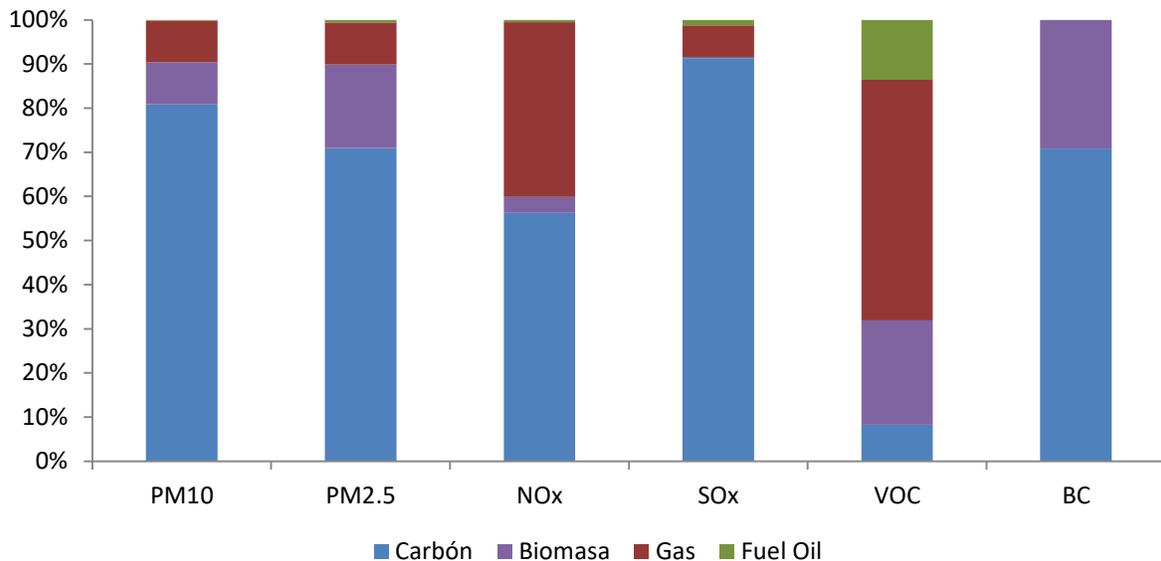


Figura 29. Distribución de emisiones por tipo de combustible

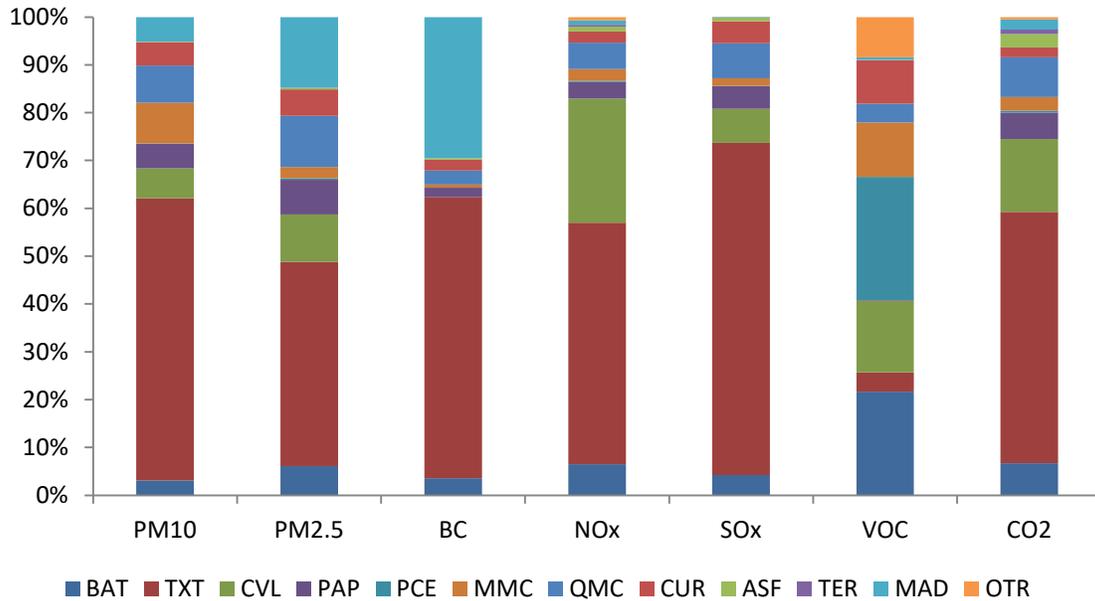
Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017)

Es importante analizar estos resultados a partir del número de fuentes por tipo de combustible y la demanda energética del Valle de Aburrá, la cuales cubre en un 37,4% por el carbón y 53,8% por el gas natural, mientras que la biomasa representa el 3% del consumo de energía. En términos del número de fuentes el 6,5% de las fuentes usan carbón (94 fuentes), el 54.4% usan gas (788 fuentes) y el 2% usan biomasa (26 fuentes). Estos resultados muestran la importancia relativa de la contribución de las emisiones de fuentes a carbón y de las fuentes que usan biomasa, que sin ser mayoritarias en número, tienen gran representatividad en términos de emisiones.

En términos del uso de sistemas de control, el 87% de las fuentes a carbón cuentan con ello. Esta no es una práctica con alta aplicación en las fuentes a gas natural y biomasa, solamente el 11% de las fuentes a gas natural y biomasa usan sistemas de control. En el caso de las fuentes que operan con biomasa, las emisiones de las fuentes sin sistema de control de sus emisiones de partículas y otros contaminantes representan el 97,5% del total de este sector.

De acuerdo con los resultados del Inventario de Emisiones, la industria aporta 1.166 toneladas de PM₁₀; 344 toneladas de PM_{2.5}; 2.979 toneladas de NO_x; 3.152 toneladas de SO₂ y 1.766 toneladas de VOC. En la Figura 30 se presenta la distribución porcentual por sectores de las emisiones de estos contaminantes. Puede observarse una participación mayoritaria del sector textil (TXT) en partículas, NO_x y SO_x. En términos de PM_{2.5} los sectores maderero (MAD), químico (QMX) y cerámico (CVL) representan en

conjunto el 35% de la emisión. Un análisis más detallado de las emisiones por contaminantes se presenta en las siguientes secciones.



BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera OTR: otras industrias

Figura 30. Distribución sectorial de emisiones industriales

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017)

Partículas (PM)

En la Figura 31 se presenta la distribución espacial de las emisiones de PM₁₀. Las celdas de color rojo representan una alta densidad de emisiones. Pueden observarse puntos de altas emisiones en Girardota y Barbosa; así como una mayor concentración de emisiones en los municipios de Itagüí, el noroccidente de Envigado y el sur de Medellín.

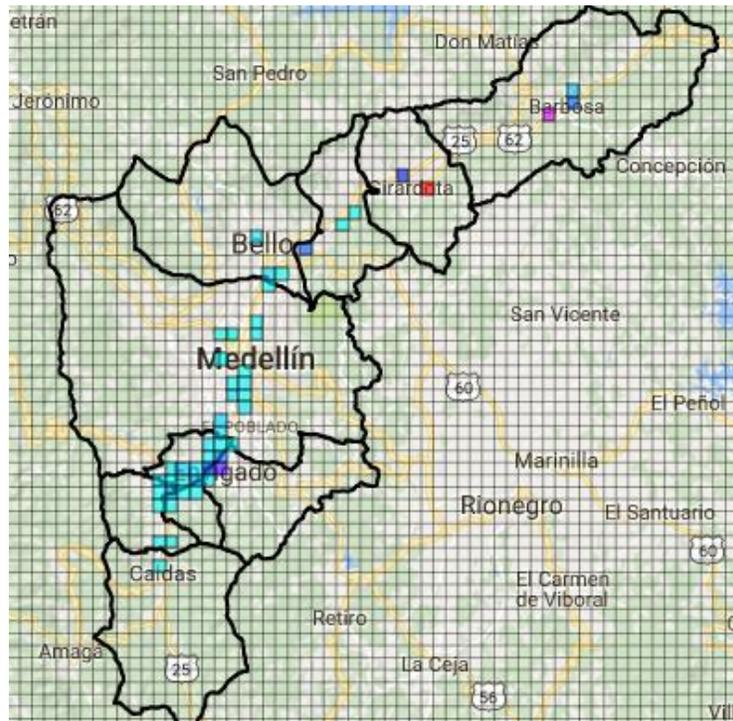
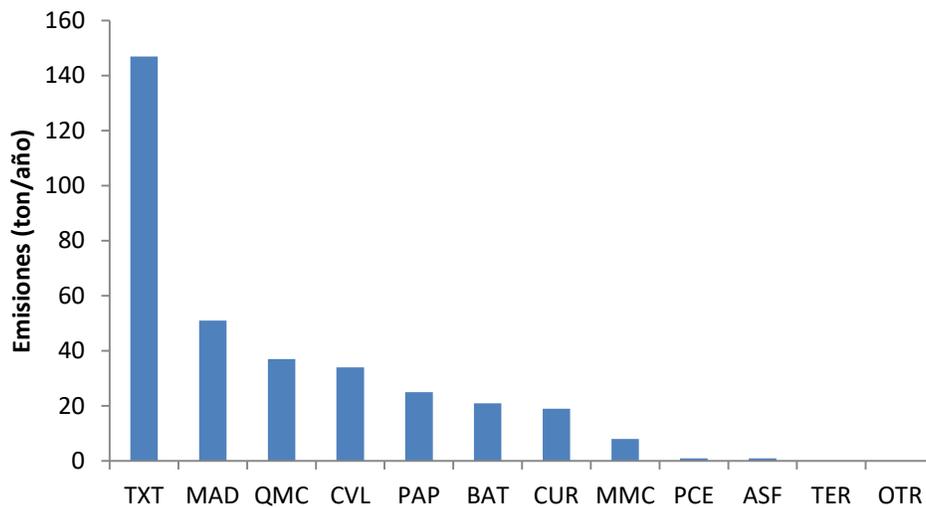


Figura 31. Distribución espacial de emisiones industriales de PM_{2.5} en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015

Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana- Sigma.

En la Figura 32 y la Figura 33 se presenta la distribución por sectores de las emisiones de PM_{2.5} y PM₁₀ respectivamente. Los sectores con las mayores emisiones de PM_{2.5} son el sector textil, maderero, el sector químico y el de cerámicas y vítreos. En conjunto las emisiones de estos sectores representan el 78% de las emisiones totales de PM_{2.5}. Con 147 toneladas al año, el sector textil presenta el mayor aporte sectorial a las emisiones de este contaminante (42,7%). El sector maderero, segundo mayor contribuyente con 51 toneladas al año, representa el 14,8% de las emisiones. Estas emisiones se asocian al uso del carbón como combustible en el sector textil y al uso de biomasa en el sector maderero.

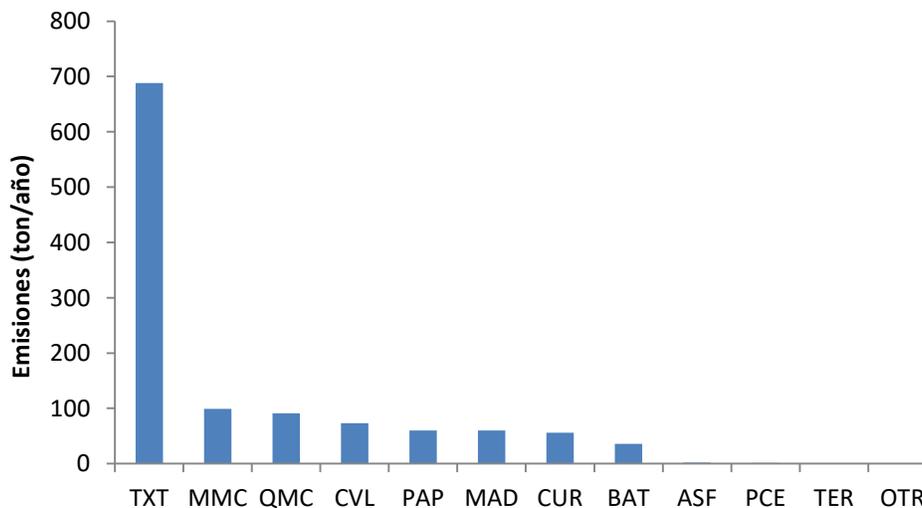
En el caso de PM₁₀, el 75% de las emisiones proviene del sector textil, cerámico y vítreo y la industria química. El sector con la mayor contribución es el textil con 688 toneladas que representan el 59% de las emisiones de PM₁₀. Estas emisiones se relacionan principalmente con el uso de carbón como combustible.



BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera OTR: otras industrias

Figura 32. Emisiones sectoriales de PM_{2,5} – Año base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017)



BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera OTR: otras industrias

Figura 33. Emisiones sectoriales de PM₁₀ – Año base 2014

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017)

Dióxido de Azufre (SO₂)

El sector industrial contribuye con 3.152 toneladas de dióxido de azufre, equivalentes al 90% de la emisión de este contaminante en el Área Metropolitana. En la Figura 34 se presenta la distribución espacial de las emisiones de SO_x. La mayor concentración de las fuentes de emisión de este contaminante se localiza en la zona de Bello y límites entre Itagüí y Envigado (celdas de color rojo).

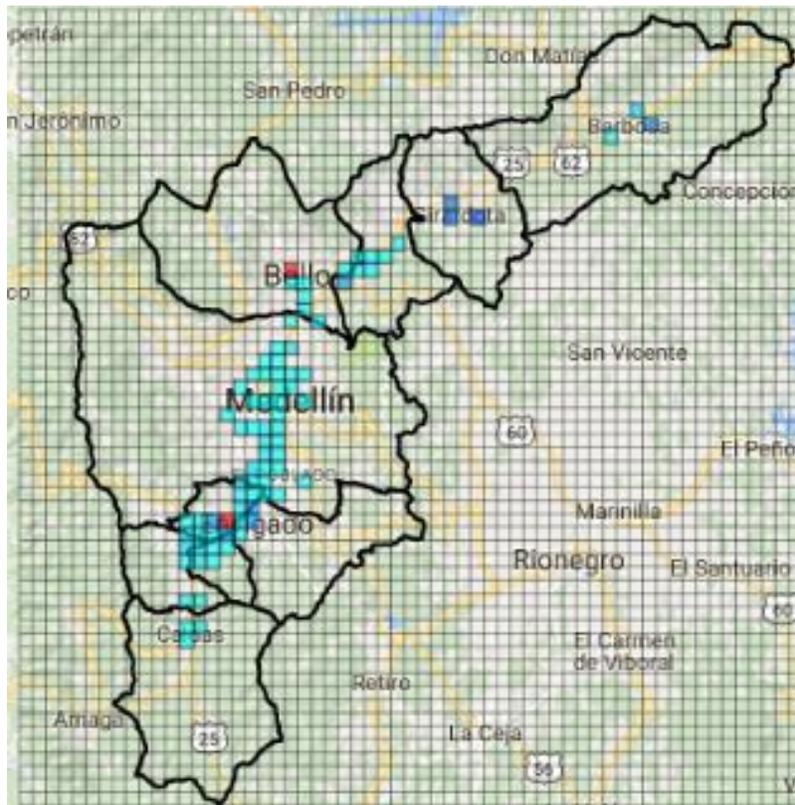
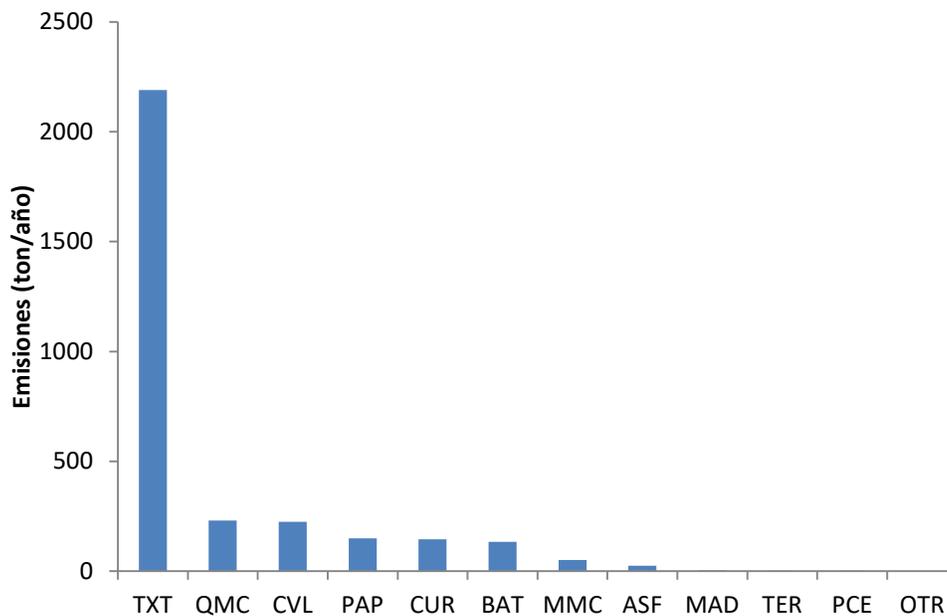


Figura 34. Distribución espacial de emisiones industriales de SO_x en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015

Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana- Sigma.

En la Figura 35 se presenta la participación sectorial en las emisiones de SO₂. Estas emisiones se relacionan principalmente con el uso del carbón, por lo cual el sector textil presenta la mayor cantidad de emisiones. Los dióxidos de azufre son precursores de la formación de material particulado por ende su control es importante también desde la perspectiva de partículas.



BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera OTR: otras industrias.

Figura 35. Emisiones sectoriales de SO₂ – Año base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017).

Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

La emisión total de óxidos de nitrógeno (NO_x) generada por la industria se estimó del orden de 2.979 toneladas al año. La industria representa el 17% de las emisiones de NO_x mientras que las fuentes móviles contribuyen con el 83%. En la Figura 36 se presenta la distribución espacial de las emisiones de NO_x. El patrón de localización de emisiones coincide con el de partículas y dióxidos de azufre, con una mayor densidad de emisiones en Bello, Itagüí y Envigado (celdas color rojo).

En la Figura 37 se presenta la participación sectorial en las emisiones de NO_x. Los sectores textil y cerámico son los que representan mayores aportaciones con emisiones de 1.504 (50%) y 773 ton/año (26%) respectivamente. Los óxidos de nitrógeno son precursores de O₃ y de PM_{2.5} secundario, su emisión puede ser controlada con lavadores de gases.

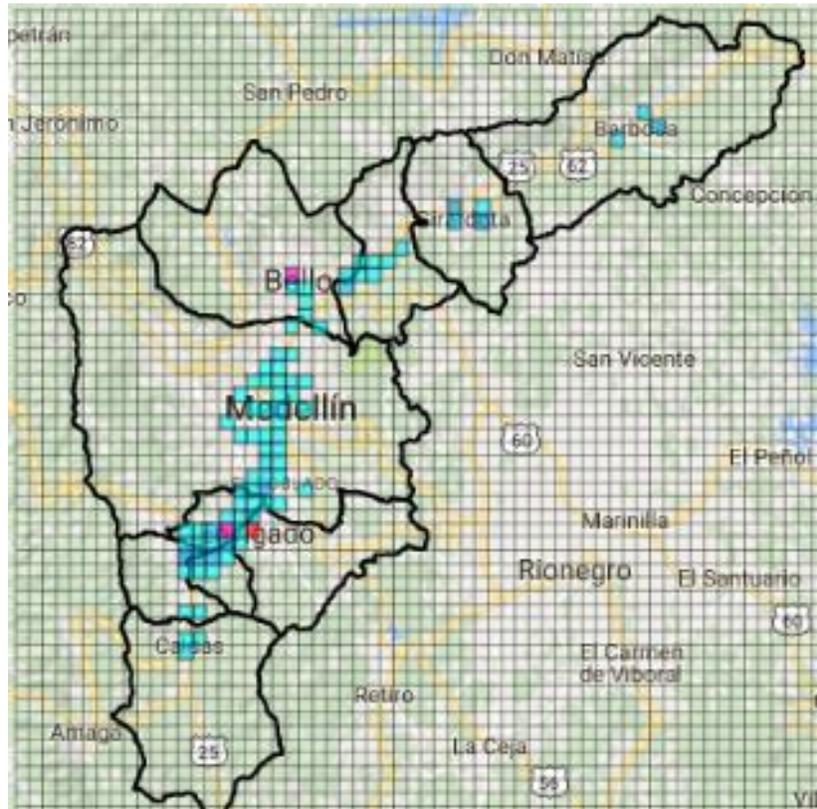
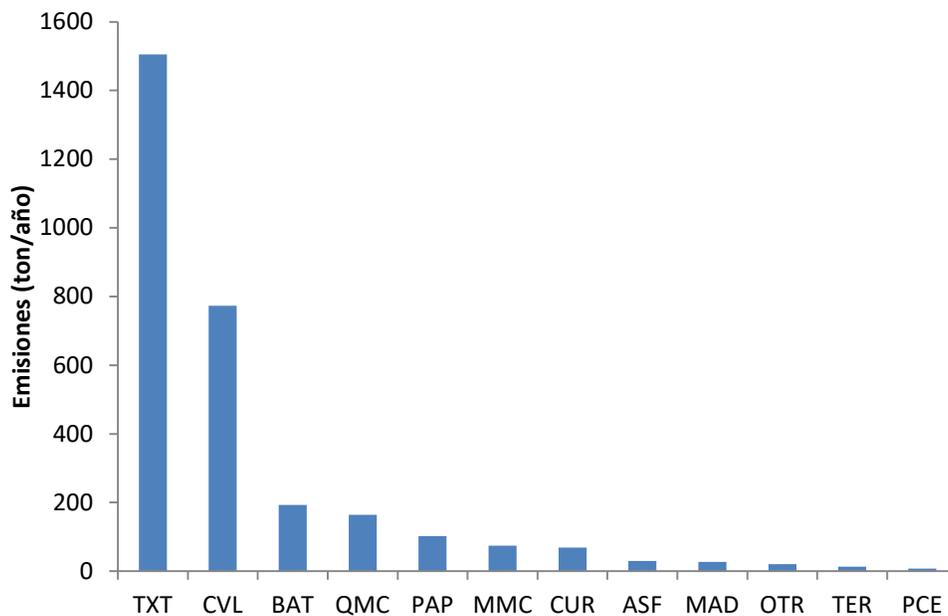


Figura 36. Distribución espacial de emisiones industriales de NOx en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015

Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana- Sigma.



BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera OTR: otras industrias.

Figura 37. Emisiones sectoriales de NOX – Año Base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017).

Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC)

La emisión total anual estimada de compuestos orgánicos volátiles proveniente de los establecimientos industriales del Área Metropolitana del Valle de Aburrá es 1.766 ton/año correspondiente al 12% de las emisiones totales. Como se presenta en la Figura 38 las principales fuentes de emisión se encuentran en la zona sur de Medellín (celdas rojas y rosas) y al occidente de Copacabana en los límites con Bello.

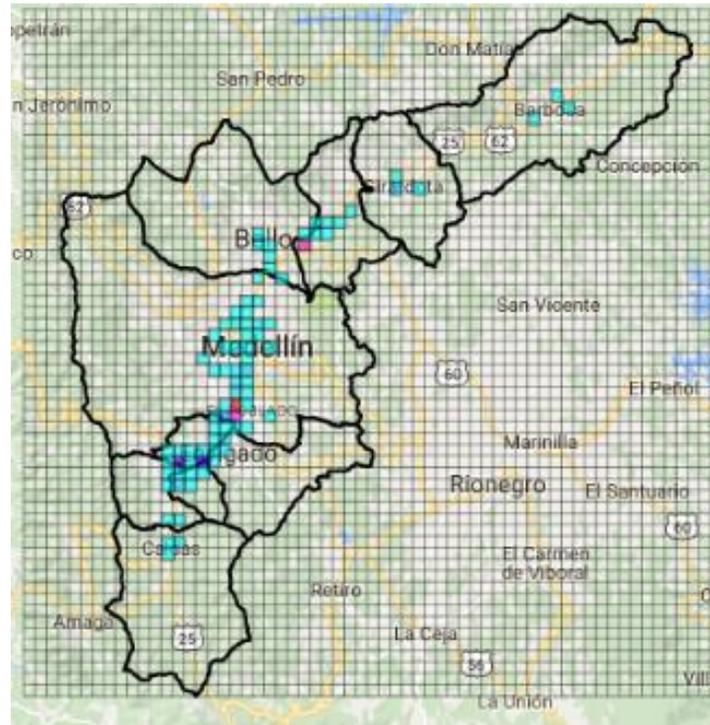
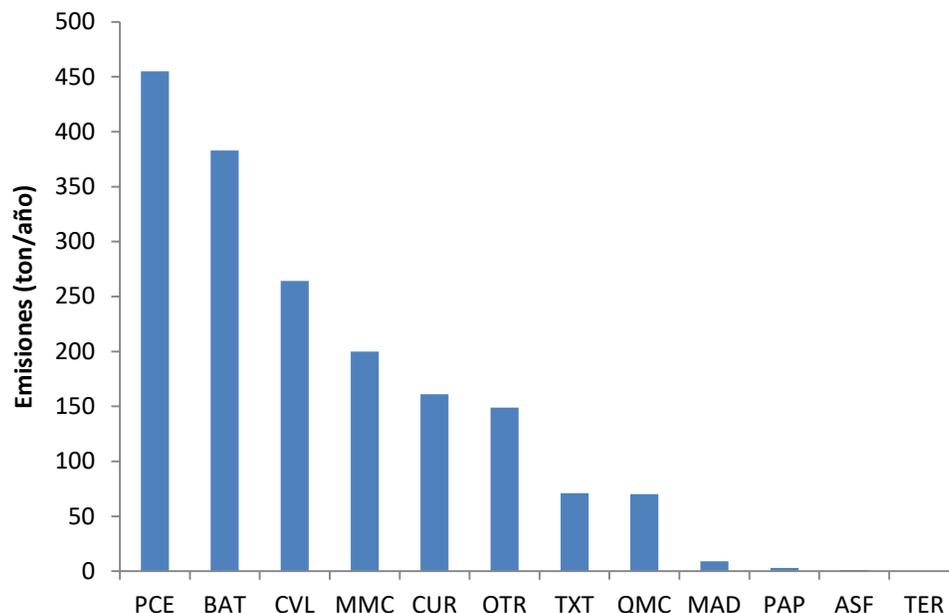


Figura 38. Distribución espacial de emisiones industriales de VOC en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015

Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana- Sigma.

En la Figura 39 se presenta la participación sectorial en las emisiones de VOC; el 62% proviene de tres sectores principales: plástico, cauchos y empaques representan el 26% de las emisiones (455 ton/año); la industria de bebidas y alimentos, el 22% (383 ton/año); y el sector cerámicos y vítreos el 15% (264 ton/año). La emisión de VOC se asocia al uso de solventes en el proceso y no necesariamente al combustible de la fuente de emisión.



BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera OTR: otras industrias.

Figura 39. Emisiones sectoriales de VOC – Año base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017).

Monóxido de Carbono (CO)

Las emisiones de monóxido de carbono (CO) generadas por los sistemas estacionarios de combustión externa del sector industrial son 3.214 toneladas anuales. La aportación de las emisiones de CO del sector industrial es de únicamente el 2,1% del inventario de emisiones. En Figura 40 se presenta la distribución espacial de estas emisiones. Se observa una mayor presencia de emisiones en la parte sur de Medellín, Envigado e Itagüí (celdas de color rojo).

La emisión de monóxido de carbono se asocia a la combustión incompleta de los combustibles sólidos (carbón y biomasa). Es por ello que los sectores industriales con mayores aportaciones son el textil con una emisión de 1.797 t/año (56%), el sector cerámico donde se incluyen las ladrilleras con 686 t/año (21%). En la Figura 41 se presenta la participación sectorial en las emisiones de CO. Es importante mencionar que en condiciones de aire exterior, este contaminante no representa un riesgo a la salud debido a su buena dispersión.

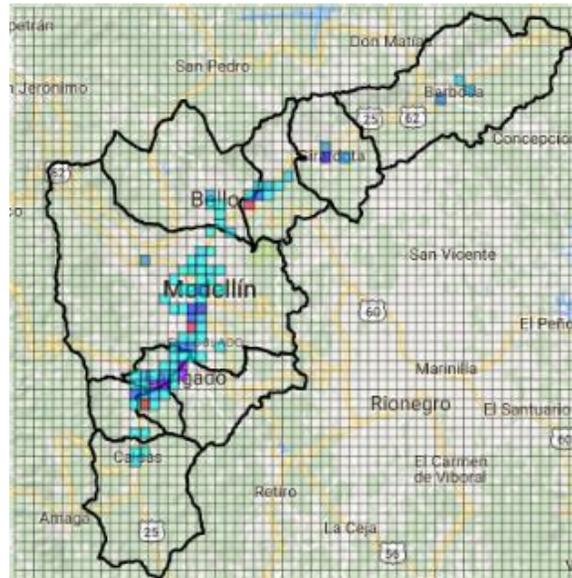
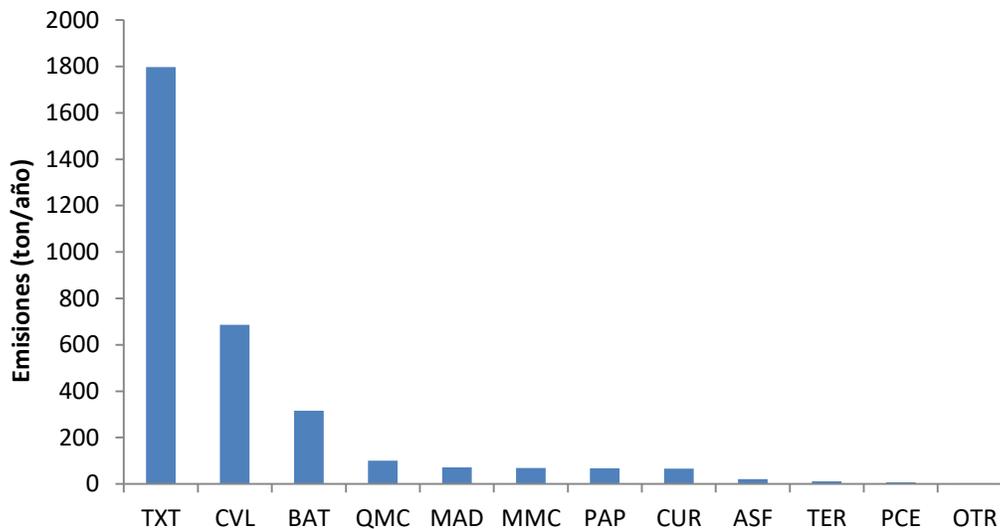


Figura 40. Distribución espacial de emisiones industriales de CO en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015

Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana- Sigma.



BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera OTR: otras industrias.

Figura 41. Emisiones sectoriales de CO – Año Base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017).

Emisiones del sector transporte

La estimación de emisiones de contaminantes criterio generadas por fuentes móviles se hace a través del modelo LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*). Este es un modelo de simulación del tipo *bottom-up* que permite el desarrollo de estudios de planeamiento energético integral y de mitigación de gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire (Heaps, 2012) (UPB - AMVA, 2015).

La estructura de LEAP está desagregada en un árbol jerárquico de cuatro niveles: sector, subsector, uso final y dispositivos; en el caso del sector transporte, el análisis se centra en el uso final, donde la demanda de energía es calculada como el producto del nivel de actividad y la intensidad energética. El nivel de actividad depende de factores como el número de vehículos y el kilometraje recorrido, mientras la intensidad energética depende de la eficiencia energética del vehículo. Las emisiones del vehículo son calculadas como el producto de la demanda de energía o los kilómetros recorridos por factores de emisión (UPB - AMVA, 2015).

Los factores de emisión son tomados del modelo *International Vehicle Emissions*, IVE (Davis, Lents, Osses, Nikkila, & Bart, 2005), el cual posee factores de emisión para aproximadamente 450 tecnologías vehiculares clasificadas de acuerdo al tipo de vehículo (auto, bus/camión, motores pequeños), tipo de combustible (gasolina, diésel, gas natural), peso (liviano, mediano, pesado), tipo de dispositivo para la mezcla aire/combustible (carburador, inyección directa, inyección de combustible multipunto), control de emisiones por el tubo de escape (catalizador, 3-vías/EGR–*exhaust gas recirculation*, Euro II) y tipo de control de las emisiones evaporativas (PCV, *positive crankcase ventilation*). Además para cada una de las tecnologías hay un factor de emisión de acuerdo con la edad del vehículo, que se da en términos del kilometraje, así: 79.000 km, 80.000-161.000 km y >161.000 km (UPB - AMVA, 2015).

En la Tabla 4 y en la Figura 42 se presentan los resultados por categoría vehicular de las emisiones del transporte. Los camiones representan la principal fuente de emisión en PM_{2.5} (38%) y NO_x (33%). Las motos de 4 tiempos son el principal aportante a las emisiones de VOC (31%) y los vehículos particulares la principal fuente de SO_x (58%), no obstante el sector transporte aporta solo el 10% de estas emisiones.

Tabla 4. Emisiones del transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá – 2015. Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017)

SECTOR	Emisiones (Ton/año)					
	PM _{2.5}	BC	NO _x	SO _x	VOC	CO ₂
Autos	122	32	3,655	199	2,535	1,330,251
Taxis	33	9	835	43	129	367,436
Buses	146	88	3,330	23	1,083	457,124
Camiones	579	353	4,773	21	3,102	548,273
Metroplús	0	2	2	0	0	5,469
Tractocamiones	22	22	337	1	55	40,942
Volquetas	391	0	925	3	226	84,807
Motos 2T	17	17	2	1	772	5,218
Motos 4T	197	302	433	51	3,608	267,635
Total	1,508	826	14,293	342	11,510	3,107,155

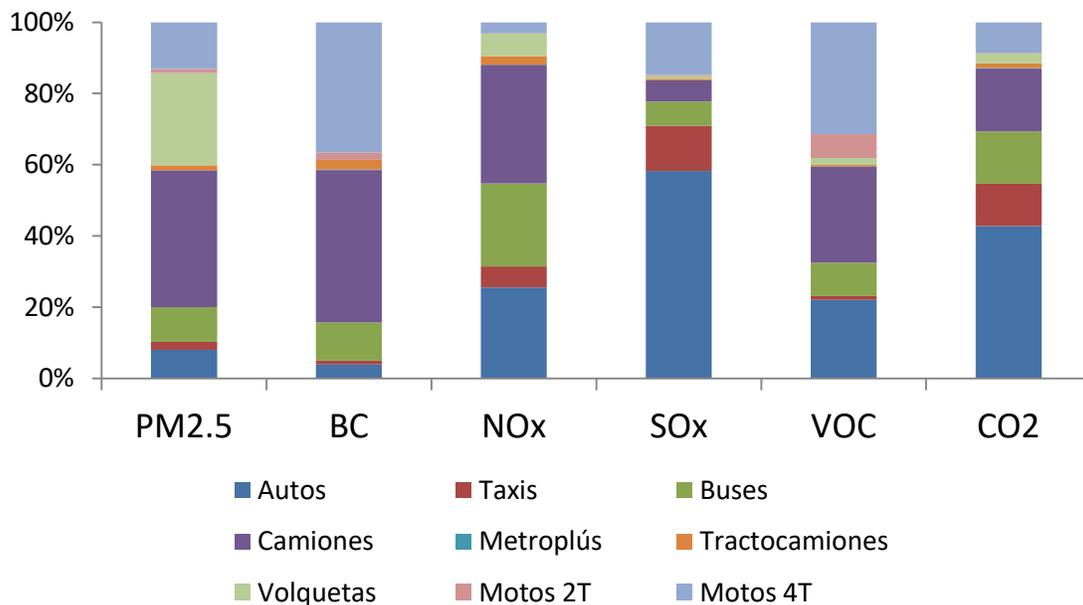


Figura 42. Distribución porcentual de emisiones por categoría vehicular – Año Base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017).

Tabla 5 y en la Figura 43 se presentan los resultados de emisión del sector transporte según el tipo de combustible. Como puede observarse, los vehículos operados con diésel son responsables del 83% de las emisiones directas de PM_{2.5} y del 69% de las emisiones de NO_x. Por su parte, los vehículos a gasolina

son responsables del 87% de las emisiones de SO_x, del 80% de las de VOC y el 66% de las de CO. Los vehículos a gas emiten el 30% de las emisiones de CO.

Tabla 5. Emisiones del transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá – 2015 según tipo de combustible. Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017)

SECTOR	Emisiones (Ton/año)						
	PM _{2.5}	BC	NO _x	SO _x	VOC	CO	CO ₂
Gasolina	248	38	3,686	299	9,223	92,099	1,580,043
Diésel	1,248	785	9,910	43	2,059	9,764	1,358,460
GNV	11	3	697	0	227	43,689	168,652
Total	1,508	826	14,293	342	11,510	145,552	3,107,155

Es necesario mencionar que las concentraciones de material particulado en el aire se deben a la contribución de la emisión directa de partículas a la atmósfera y a la formación de material particulado de origen secundario. Debido a los procesos físico-químicos en la atmósfera, los contaminantes precursores; tales como NO_x, SO_x y VOC, reaccionan formando material particulado de origen secundario. En este sentido, una estrategia integral de calidad del aire no debe centrarse exclusivamente en la reducción de las emisiones directas de partículas sino que debe incluir también el control de estos precursores.

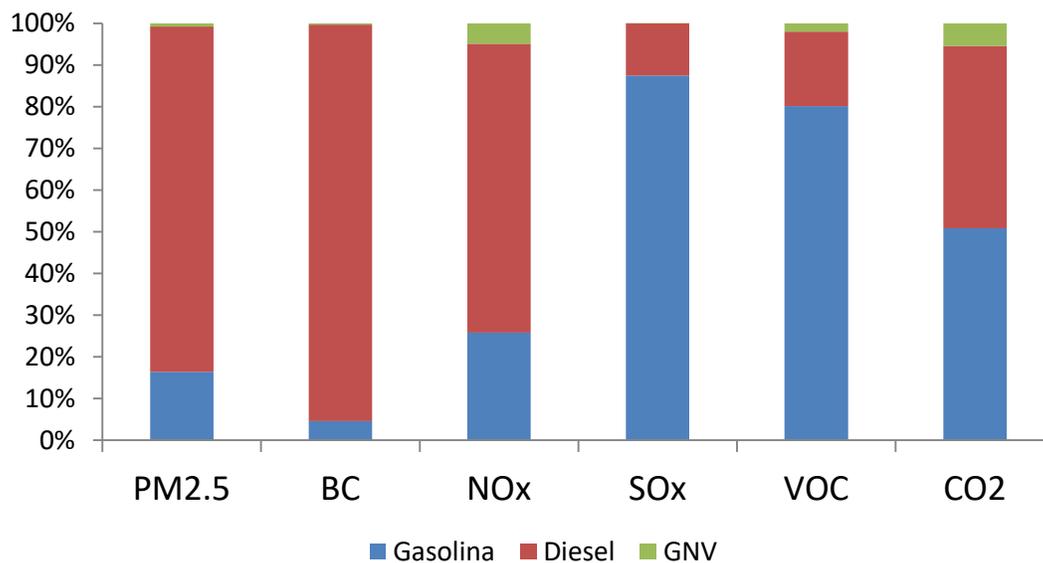


Figura 43. Distribución porcentual de emisiones por tipo de combustible – Año base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá UPB, 2017).

En la Figura 44 se presenta el patrón de distribución de emisiones de contaminantes por fuentes móviles. Debido a la naturaleza de estas fuentes este patrón es similar para todos los contaminantes. Puede observarse una mayor densidad de emisiones en la zona central del Área Metropolitana (celdas color rojo y rosa), en específico en el centro de Medellín y emisiones homogéneas en el corredor vial río Medellín.

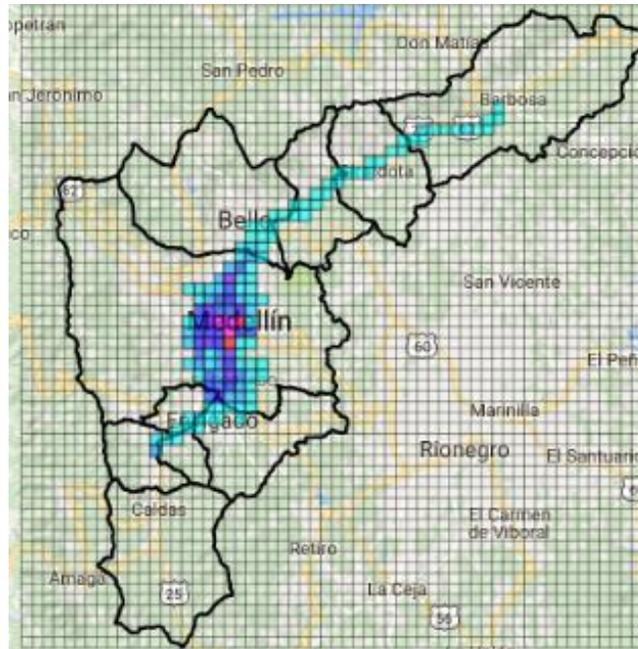


Figura 44. Patrón de distribución espacial de emisiones del transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2015

Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana- Sigma.

En la Tabla 6 se presenta la distribución porcentual de las emisiones en hora pico para algunos corredores viales representativos en el Valle de Aburrá. De acuerdo con estos resultados, más del 50% de las emisiones de todos los contaminantes de los corredores de interés en la hora pico de la mañana son aportadas por la Avenida Guayabal, Las Vegas y Autopista Norte. Mientras que el corredor Carrera 34 aporta cerca de 1% de la emisión de todos los contaminantes, la Autopista Norte es el corredor de mayor aporte representando el 24% de las emisiones de la hora modelada.

Tabla 6. Participación por corredor en las emisiones en hora pico*. Fuente: Estrategia Ambiental Integrada CAI - Área Metropolitana del Valle de Aburrá 2013

Corredores	PM _{2.5}	VOC	CO	NO ₂	SO ₂	BC
Cra 43A - Avenida El Poblado- S-N	5%	5%	6%	7%	6%	7%
Cra 43A - Avenida El Poblado- N-S	10%	9%	10%	10%	10%	11%
Las Vegas S-N	4%	4%	5%	5%	5%	6%
Las Vegas N-S	12%	12%	11%	11%	12%	12%
Av. Guayabal S-N	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Av. Guayabal N-S	10%	10%	8%	7%	8%	9%
Autopista Norte N-S	15%	15%	15%	15%	15%	14%
Autopista Norte S-N	9%	10%	9%	9%	9%	9%
Carrera 80 N-S	12%	12%	11%	11%	12%	12%
Carrera 80 S-N	6%	6%	6%	6%	6%	7%
Transversal superior S-N	2%	2%	3%	3%	3%	2%
Transversal inferior N-S	3%	4%	4%	3%	4%	3%
Calle 10 W-E	2%	3%	3%	3%	3%	2%
Calle 10 E-W	1%	2%	3%	2%	2%	1%
Cra. 34 S-N	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Cra. 34 N-S	1%	1%	1%	1%	1%	1%

*Hora de modelación: 7:30 a. m. a 8:30 a. m.

A continuación se presenta un análisis detallado de las emisiones de fuentes móviles según el tipo de contaminante.

Partículas Finas (PM_{2.5})

La emisión total de PM_{2.5} primario del sector transporte es de 1.508 toneladas al año, equivalentes al 81% del total de las emisiones de este contaminante en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la Figura 45 se presenta la distribución de esta emisiones por categoría. El 87% de estas emisiones corresponde a cuatro categorías principales: camiones (38%); volquetas (26%); motos de 4 tiempos (16%) y buses medianos (10%).

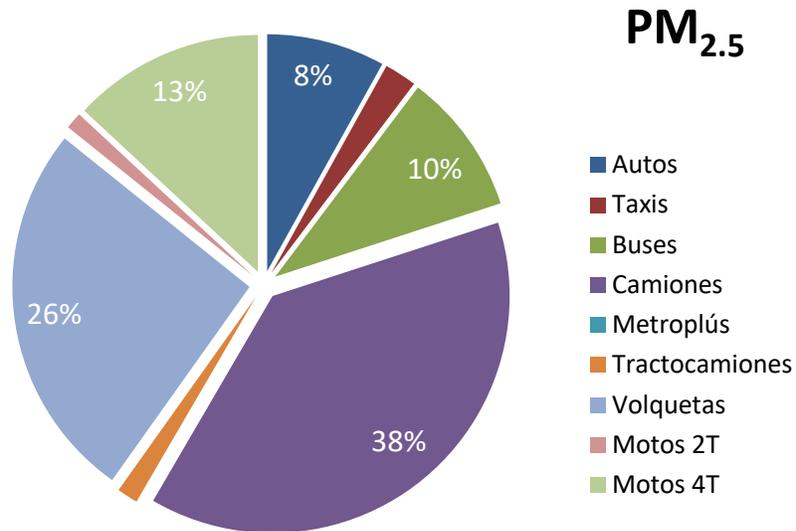


Figura 45. Emisiones de PM_{2.5} primario por categoría de transporte – Año base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones. Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017.

Dióxido de Azufre

La emisión total de SO_x del sector transporte es de 342 toneladas al año, equivalentes al 10% del total de las emisiones de este contaminante en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la Figura 46 se presenta la distribución de estas emisiones por categoría. Los automóviles particulares emiten el 58% de las emisiones, por su parte, las motos de 4 tiempos emiten el 15% de los SO_x y los taxis el 13%.

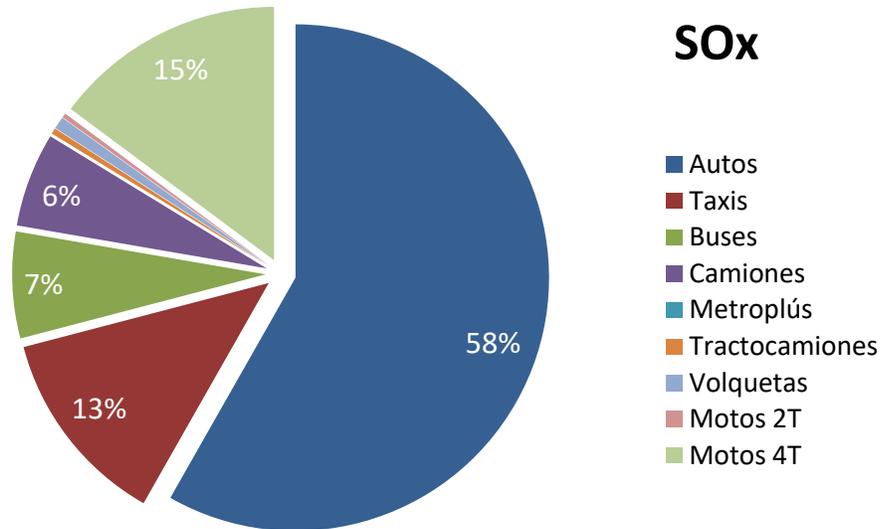


Figura 46. Emisiones de SOX por categoría de transporte – Año base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones. Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017.

Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

La emisión total de NO_x del sector transporte es de 14.293 toneladas al año, equivalentes al 83% del total de las emisiones de este contaminante en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la Figura 47 se presenta la distribución de estas emisiones por categoría. Las principales fuentes de emisión de estos contaminantes son los camiones (33%), autos particulares (26%) y los buses (23%).

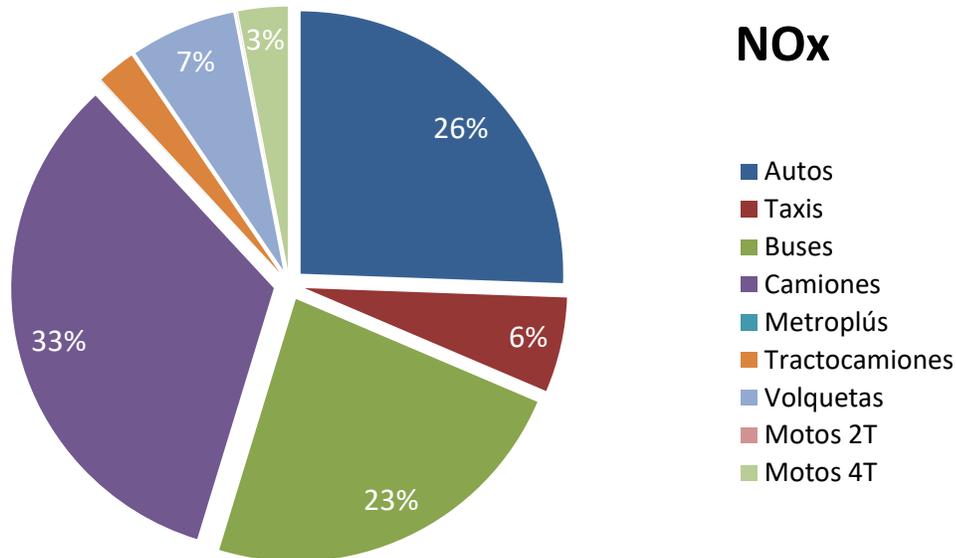


Figura 47. Emisiones de NO_x por categoría de transporte – Año base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones. Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017.

Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC)

La emisión total de VOC del sector transporte es de 11,510 toneladas al año, equivalentes al 75% del total de las emisiones de este contaminante en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la Figura 48 se presenta la distribución de estas emisiones por categoría. Las principales fuentes de emisión de estos contaminantes son las motos con un aporte total del 50% (motos de 4 tiempos, 32%; motos de 2 tiempos, 18%)⁴², los autos particulares a gasolina emiten el 13% (7% livianos y 6% medianos) y los camiones medianos a gasolina emiten el 10%.

⁴² La mayor contribución de este contaminante por parte de las motos de 4 tiempos se debe a que estas sobrepasan ampliamente en número a las motos de 2 tiempos. La emisión por vehículo es mayor en las motos de 2 tiempos.

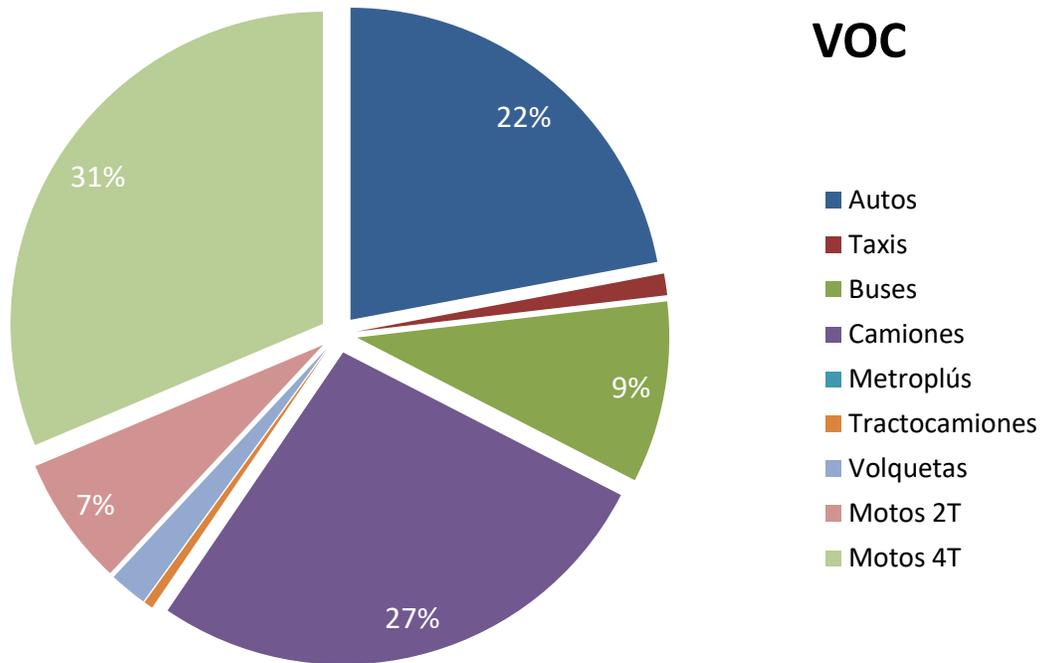


Figura 48. Emisiones de VOC por categoría de transporte – Año base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones. Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017.

Carbono Negro (BC)

La emisión total de BC del sector transporte es de 850 toneladas al año, equivalentes al 97% del total de las emisiones de este contaminante en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la Figura 49 se presenta la distribución de estas emisiones por categoría. En el caso del carbono negro las principales fuentes móviles de emisión corresponden a camiones con un 43% de la emisión; seguido por las volquetas con un 36% de las emisiones de carbono negro. El carbono negro reviste una doble importancia toda vez que es un componente del $PM_{2.5}$ representando impactos a la salud, y un contaminante climático de vida corta, con efectos sobre el cambio climático.

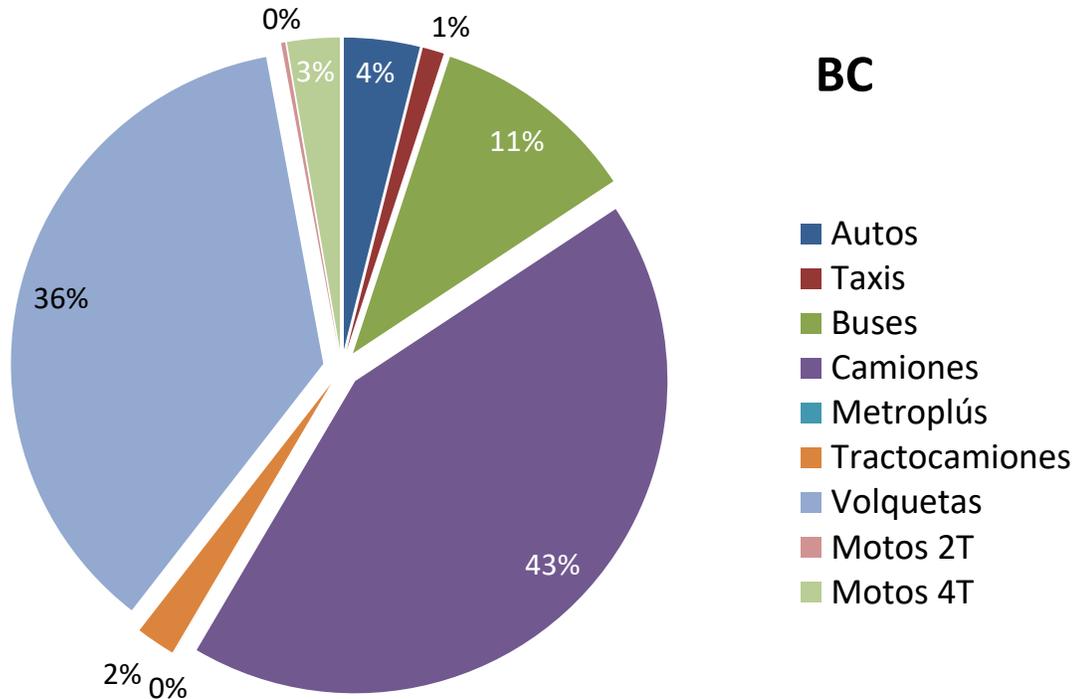


Figura 49. Emisiones de BC por categoría de transporte – Año base 2015

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario de Emisiones. Área Metropolitana del Valle de Aburrá UPB, 2017.

Fuentes de área

El inventario de emisiones del Valle de Aburrá estima la contribución de las estaciones de servicio de combustible a las emisiones de VOC en la región. Las emisiones que se generan en éstas, se producen durante la descarga del combustible desde el carro tanque que lo transporta a los tanques de almacenamiento subterráneos; por la expansión y compresión del líquido debido a los cambios de temperatura y presión durante el día y, durante el abastecimiento de los vehículos. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017).

Para la estimación de emisiones de VOC de estaciones de servicio se usan factores de emisión de la U.S. *Environmental Protection Agency* (US EPA) en los que se considera las ventas de combustibles y las características de las estaciones en el Valle de Aburrá. En la Figura 50 se presentan la distribución porcentual para las categorías analizada. La contribución total es de 2.011 toneladas.

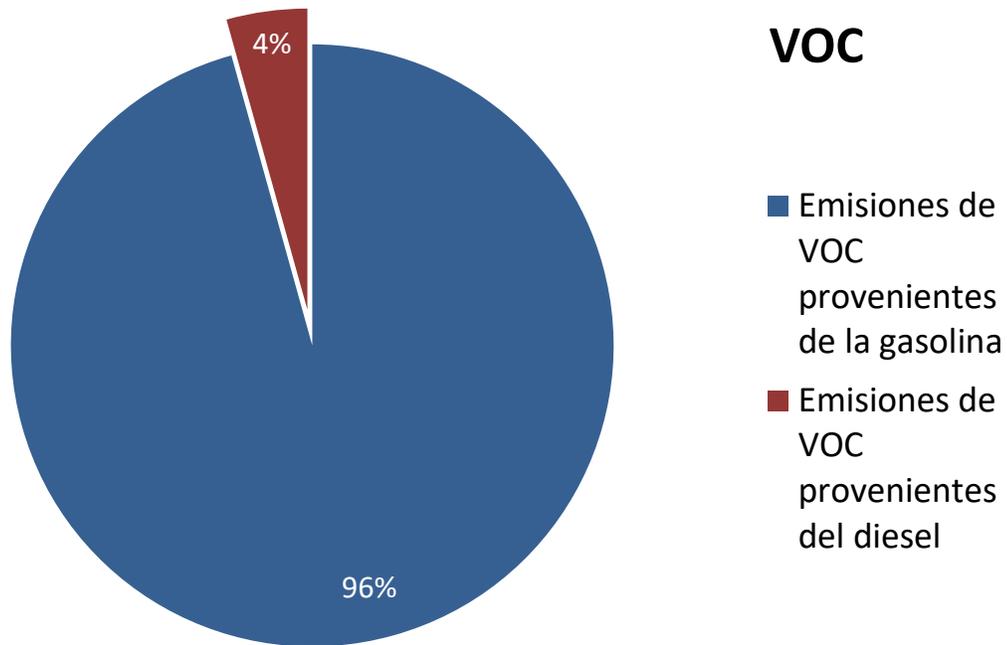


Figura 50. Distribución porcentual de emisiones de VOC por Fuente de Área

Fuente: Inventario de Emisiones Atmosféricas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2017.

Tomando en cuenta los análisis realizados en este capítulo, en el siguiente se presentará un análisis del estado de la calidad del aire, la cual es el resultado de la liberación al ambiente de las emisiones descritas y la influencia de factores topográficos, meteorológicos y de química atmosférica que caracterizan al Valle de Aburrá.

3 CALIDAD DEL AIRE: ESTADO Y TENDENCIAS DE LA CALIDAD DEL AIRE

En este capítulo se presenta un análisis de la situación actual y las tendencias de los niveles de contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá, el cual tiene como propósito servir como punto de partida para dimensionar la magnitud del problema y determinar los esfuerzos necesarios para mejorar la calidad del aire con fines de protección de la salud y preservación del ambiente. Para empezar, es importante tener presente que los niveles de calidad del aire en una cuenca atmosférica dependen de múltiples factores y variables, entre las cuales se encuentran: a) la magnitud y distribución en el territorio de las emisiones contaminantes descargadas a la atmósfera, conforme a lo explicado en el Capítulo 2; b) las características topográficas de la cuenca atmosférica que imponen límites físicos a la dispersión de los contaminantes; c) las condiciones meteorológicas que afectan la ventilación, transporte y dilución de los contaminantes en la atmósfera y d) diversos procesos fisicoquímicos que explican la formación en la atmósfera de partículas secundarias y oxidantes fotoquímicos a partir de los contaminantes emitidos originalmente.

Mientras que el Capítulo 2 se ha encargado de discutir los aspectos relativos a la magnitud y distribución territorial de las emisiones de contaminantes atmosféricos en el Valle de Aburrá, en éste se abordan los correspondientes a las características del medio físico, las condiciones meteorológicas y aspectos generales de los procesos de química atmosférica que contribuyen a explicar la calidad del aire en el Valle de Aburrá. Asimismo, se presenta una revisión de la situación actual, comportamiento histórico y tendencias de la calidad del aire, así como de su estado en relación con la normatividad aplicable, el cumplimiento de las normas colombianas y de los lineamientos de calidad del aire de la OMS. Cabe destacar que a través de un estudio específico que se ha reportado por separado, se ha elaborado un diagnóstico del programa de monitoreo atmosférico del Área Metropolitana del Valle de Aburrá⁴³, con el fin de identificar oportunidades de mejora y desarrollo dirigidas a apuntalar el cumplimiento del PIGECA (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Clean Air Institute (CAI), 2016).

En síntesis, en este capítulo se identifica que los principales problemas de contaminación del aire en el Valle de Aburrá están asociados con altas concentraciones de partículas respirables ($PM_{2.5}$) y, en menor grado, por excedencias a la norma de calidad del aire de ozono. Asimismo, se cuenta con evidencias de que para reducir las concentraciones atmosféricas de $PM_{2.5}$ es necesario incidir tanto en las emisiones directas de este contaminante (partículas de origen primario), como en los precursores que contribuyen a la formación secundaria de $PM_{2.5}$ en la atmósfera. En este último caso, es necesario reducir emisiones de dióxido de azufre (SO_2 , producido principalmente por la quema de combustibles fósiles que contienen este elemento), óxidos de nitrógeno (NO_x , generados por procesos de combustión en el transporte, la industria y los servicios) y compuestos orgánicos volátiles (VOC generados en procesos de combustión y en otros procesos).

⁴³ El documento referido es un informe técnico del Acta de Ejecución N. ° 5 del Convenio Marco de Asociación CA 529 de 2011.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Características topográficas

Las características físicas de la cuenca, donde se localiza la que es hoy en día, la segunda conglomeración urbana más poblada de Colombia, no son propicias para la dispersión de los contaminantes. El Valle de Aburrá se encuentra en el centro del departamento de Antioquia, en medio de la cordillera Central de los Andes, en la cuenca del río Medellín. Como ilustra la Figura 51, el valle se caracteriza por ser una concavidad prolongada y estrecha de 60 km de longitud en total y un ancho máximo de 7 km en la parte central a la altura del municipio de Medellín. La topografía es irregular y con pronunciadas pendientes; el piso del valle se encuentra a una elevación de 1,300 m s.n.m. y está bordeado por montañas que alcanzan alturas de hasta 2,800 m s.n.m. (Atlas Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010). La cuenca del río se puede dividir en tres segmentos con características topográficas distintas, la cuenca baja, en donde el río se desplaza entre laderas escarpadas y sigue una alineación S-N, con una pendiente promedio de aproximadamente 6% y comprende los municipios de Caldas, Sabaneta y La Estrella. La cuenca media, en donde el río tiene una dirección predominante hacia el NNE, se caracteriza por planicies aluviales estrechas de mayor amplitud hacia el margen izquierdo del río, en donde se asienta la mayor parte de la población y el piso del valle está limitado lateralmente por terrenos de pendiente pronunciada que ascienden hasta los 2500-3000 m s.n.m. La cuenca alta, que comprende la porción norte de la cuenca, abarcando los municipios de Bello y Copacabana, caracterizada por un estrechamiento en el valle limitado por laderas pronunciadas, en donde el río avanza en una dirección predominante hacia el NE (Jiménez Mejía, 2016). Dentro de la cuenca existe un complejo sistema de subcuencas y microcuencas con diferentes características topográficas, urbanísticas, de cobertura y clima. Estas características topográficas, determinantes para propiciar el clima estable y benigno del que disfruta la “Ciudad de la Eterna Primavera” la mayor parte del año, constituyen barreras físicas que favorecen el estancamiento y acumulación de los contaminantes atmosféricos bajo ciertas condiciones meteorológicas.

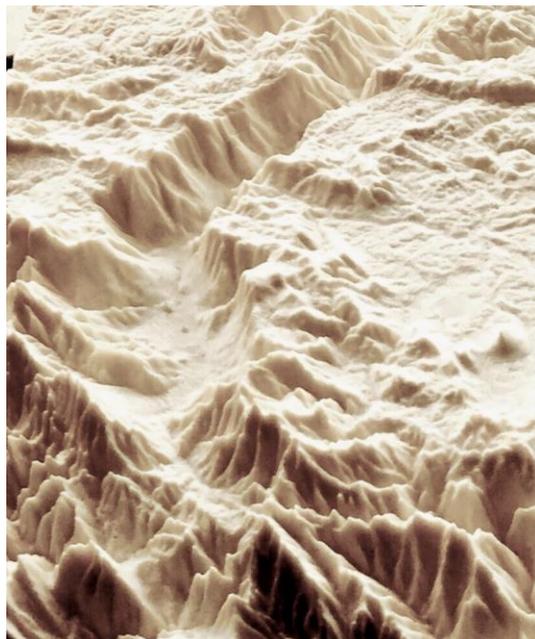


Figura 51. Características del relieve topográfico del Valle de Aburrá

Fuente: Fotografía del Clean Air Institute, con base en maqueta producida por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Las cordilleras que rodean el Valle de Aburrá dan lugar a diferentes microclimas adicionando un mayor número de variables y procesos, haciendo que la dinámica atmosférica relacionada con la dispersión de contaminantes y la calidad del aire sea significativamente más compleja (Herrera Mejía, 2015). Es de esperarse que la estrecha configuración topográfica de la cuenca atmosférica donde se encuentra el Valle de Aburrá, junto con la influencia de los factores meteorológicos, así como los procesos de química atmosférica (acumulación de contaminantes y la formación de partículas secundarias y contaminantes fotoquímicos) que ocurren en el reactor representado por la cuenca del Valle de Aburrá, desempeñen un papel fundamental sobre la calidad del aire.

Más allá, la cuenca donde se asienta la segunda concentración urbana más grande de Colombia tiene una dimensión espacial mucho menor que otras cuencas del país, como puede observarse en la Figura 52. Es decir, el Valle de Aburrá se encuentra confinado en un menor espacio con importantes restricciones topográficas en comparación con otras concentraciones urbanas del país. Esto implica que en presencia de estabilidad atmosférica, esta configuración topográfica limita severamente la dispersión y ofrece un menor volumen de dilución, por lo tanto, los contaminantes emitidos dentro de la cuenca podrían concentrarse con mayor facilidad, haciendo susceptible la región a altos niveles de contaminación.



Valle del Cauca

Valle de Aburrá

Sabana de Bogotá

Figura 52. Comparación gráfica de las dimensiones de las cuencas atmosféricas en el Valle del Cauca, Medellín y Sabana de Bogotá

Monitoreo atmosférico

El análisis de las condiciones meteorológicas que afectan los niveles de contaminación atmosférica, así como de la situación y tendencias de la calidad del aire que será presentado en las siguientes secciones, está basado en información generada por la red de monitoreo atmosférico del Valle de Aburrá. El monitoreo atmosférico es uno de los elementos fundamentales para la gestión de la calidad del aire y para la definición de políticas estratégicas para la prevención y control de emisiones contaminantes.

Hasta la primera mitad de 2016, la operación del programa de monitoreo de calidad del aire estuvo a cargo de la Universidad Nacional de Colombia (UN) de Medellín, bajo un convenio con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá a través del cual fue responsable de la operación y mantenimiento de todas las estaciones de monitoreo de atmosférico. A partir de la segunda mitad de 2016, esta operación se hace a través de la universidad EAFIT, quien está contratada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá para ejecutar el proyecto SIATA -Sistema de Alerta Temprana de Medellín y Valle de Aburrá, el cual es un proyecto de Ciencia y Tecnología del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Alcaldía de Medellín, que cuenta con el apoyo y los aportes de EPM e ISAGEN⁴⁴.

Actualmente la red de monitoreo de calidad de aire del Valle de Aburrá está conformada por 24 sitios de monitoreo distribuidos en los diferentes municipios que se encuentran bajo la jurisdicción del Área

⁴⁴ Definición tomada del sitio web <https://siata.gov.co/>, fecha de consulta: 4 de agosto de 2017.

Metropolitana del Valle de Aburrá. En la Tabla 7 se describe el equipamiento de cada una de las estaciones de monitoreo.

Tabla 7. Equipamiento de las estaciones de monitoreo durante 2016⁴⁵

CLAVE	MUNICIPIO	PST manual	PM ₁₀ manual	PM _{2.5} manual	PM ₁	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	CO	O ₃	Met
BAR-HSVP	Barbosa											
BAR-PDLA	Barbosa											
GIR-IECO	Girardota											
GIR-SOSN	Girardota											
COP-HSMA	Copacabana											
BEL-USBV	Bello											
BEL- SESB(M)	Bello											
MED-UNNV	Medellín											
MED-MIRA	Medellín											
MED-MANT	Medellín											
MED-EXSA	Medellín											
MED-UNFM*	Medellín											
MED-UDEM	Medellín											
MED-CORA	Medellín											
MED-PJIC	Medellín											
MED-LAYE	Medellín											
ITA-PTAR	Itagüí											
ITA-CJUS	Itagüí											
ITA-CRSV	Itagüí											
ITA-CONC	Itagüí											
EST-MAGO	Estrella											
EST-METR	Sabaneta											
SAB-CAMS	Sabaneta											
CAL-PMER	Caldas											
CAL-LASA	Caldas											

*Desde enero de 2017, esta estación de monitoreo fue trasladada a la sede del Instituto Tecnológico Metropolitano en Robledo.

Nota: Los cuadros grises corresponden a equipos manuales y los negros a equipos automáticos.

En la Tabla 8 se indica el tipo de estación definido por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, de acuerdo con los documentos de Clasificación de Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire del Área

⁴⁵ Actualizado conforme al Informe N. °38 del Convenio CI-326 de 2014 N. ° interno 1416_24.1, Informe Acumulado Enero-Mayo de 2016.

Metropolitana del Valle de Aburrá e Informe N. ° 26 del Convenio CI-326 de 2014, N.º interno 1416 - 18.0, Informe Acumulado Enero – Diciembre de 2015 de la Universidad Nacional de Colombia. Por su parte, en la Figura 53 se presenta la localización de las estaciones, esta distribución geográfica, así como la clasificación de las estaciones responde al estudio de optimización de la red de monitoreo (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – UPB, 2011). A continuación, se presenta también una breve descripción de los diferentes tipos de estaciones⁴⁶.

ESTACIÓN DE FONDO

En el estudio de optimización de la Red se identificó que la zona norte del Valle de Aburrá sirve como fondo para la evaluación de los niveles de calidad del aire, dados los patrones de circulación de vientos predominantes que permiten una mejor dispersión de las emisiones allí generadas hacia el centro del valle, a la vez que impide que las emisiones producidas al sur alcancen estos territorios. Las estaciones localizadas en los municipios de Barbosa y Copacabana, se definen como fondo por su ubicación, vientos arriba de las emisiones del área metropolitana y su objetivo, además de entregar información sobre los niveles de contaminantes que están ingresando al Valle de Aburrá, es hacer seguimiento de los niveles a los que está expuesta la población.

ESTACIÓN URBANA

En el Valle de Aburrá, las emisiones por tráfico rodado son mayores en la zona centro del municipio de Medellín, mientras que las mayores emisiones por fuentes fijas se concentran en el municipio de Itagüí según el inventario (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - UPB, 2011). El sitio de monitoreo localizado en el Museo de Antioquia, se seleccionó con el objetivo de hacer seguimiento en áreas con gran concentración de emisiones vehiculares, por ser un sector donde confluyen rutas de servicio público colectivo intermunicipales y en general se identifica una actividad vehicular propia de los centros urbanos. La estación Planta de Tratamiento San Fernando está localizada sobre el eje central del valle y representa un área con influencia de emisiones vehiculares e industriales. La estación Plaza de Mercado en el municipio de Caldas, se ubica en un entorno con emisiones vehiculares importantes por su cercanía al parque principal de este municipio. Las estaciones Casa de Justicia y Colegio El Rosario, están ubicadas en el municipio de Itagüí, el cual reporta mayores emisiones industriales según el inventario. La estación localizada en el municipio de Girardota, se clasifica como urbana, la cual puede verse afectada por las emisiones provenientes del corredor industrial que se asienta en este municipio.

ESTACIÓN DE FONDO URBANO

Las estaciones de fondo urbano tienen la característica de estar ubicadas en núcleos urbanos pero alejados de vías de alto flujo vehicular o asentamientos industriales. De acuerdo con el estudio de optimización de la red, se identificó la necesidad de una estación de este tipo en la zona norte del valle y

⁴⁶ Información disponible en: <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/Clasificaci%C3%B3n-de-Estaciones.aspx> Consultado junio 29 de 2017.



una segunda en la zona centro. Con este objetivo se seleccionaron la Estación Universidad San Buenaventura, ubicada en el municipio de Bello y la estación Universidad Nacional de Colombia, Núcleo El Volador en Medellín.

ESTACIÓN SUBURBANA

Las estaciones suburbanas se localizan en las laderas del valle, entorno que presenta unas características particulares por las circulaciones del viento y su comportamiento como sumideros de contaminantes que son emitidos en la zona centro del valle. En el Valle de Aburrá se han definido las estaciones Concejo de Itagüí, Centro Administrativo Municipal de La Estrella, Universidad de Medellín, Villa Hermosa y Loma Los Balsos Poblado, con el propósito de conocer los niveles de contaminación en estos entornos.

ESTACIÓN DE TRÁFICO

En el Valle de Aburrá, las estaciones Facultad de Minas de la Universidad Nacional y Politécnico Jaime Isaza Cadavid, han servido como referente para evaluar el impacto del mejoramiento de los combustibles, por su ubicación estratégica en inmediaciones de vías de alto flujo vehicular. Los niveles de contaminación monitoreados, son susceptibles de la actividad en la vía, como lo evidencia el incremento significativo de las concentraciones de PM₁₀ en la estación Facultad de Minas en el 2012, debido a la ampliación de la vía al mar. La unidad móvil operó durante el período julio-septiembre de 2012 en la Universidad Pontificia Bolivariana, con el objetivo de monitorear el impacto de la Avenida Bolivariana, por lo que se clasificó como estación de propósito especial para evaluar tráfico urbano. A la fecha sirve con este mismo objetivo para medir el impacto de la Avenida Las Vegas, estando ubicada en la Unidad Deportiva INDESA (Sede norte) del municipio de Sabaneta.

ESTACIÓN URBANA DE TENDENCIA MICROESCALA

Las condiciones de microlocalización de una estación de calidad del aire, son determinantes en la definición de los objetivos de vigilancia. Las estaciones Edificio Miguel de Aguinaga, Corantioquia, Éxito San Antonio y Centro Administrativo Municipal de Sabaneta, están ubicadas en áreas urbanas a una altura superior a los 15 metros sobre el nivel del suelo, que si bien no permiten medir la exposición de la población, entregan información de los fenómenos de mezcla de los contaminantes y la tendencia de los datos de calidad del aire y meteorológicos.

Tabla 8. Tipo de estación de acuerdo a la clasificación de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	TIPO DE ESTACIÓN
BAR-HSVP	Hospital San Vicente de Paul	Barbosa	Suburbana de Fondo
BAR-PDLA	Parque de las Aguas	Barbosa	Rural de fondo
GIR-IECO	Institución Educativa Colombia	Girardota	Urbana de Fondo
GIR-SOSN	SOS Aburrá Norte	Girardota	Suburbana Industrial

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	TIPO DE ESTACIÓN
COP-HSMA	Hospital Santa Margarita	Copacabana	Suburbana de Fondo
BEL-SESB	Universidad San Buenaventura	Bello	Urbana de tráfico
MED-UNNV	Universidad Nacional de Colombia, Núcleo El Volador	Medellín	Urbana de Fondo
MED-MIRA	Tanques Miraflores	Medellín	Suburbana de Fondo
MED-MANT	Museo de Antioquia	Medellín	Urbana de Trafico
MED-EXSA	Éxito San Antonio	Medellín	Urbana de Tendencia Mesoescala
MED-UNFM	Universidad Nacional Facultad de Minas Bloque M2	Medellín	Urbana de Trafico
MED-UDEM	Universidad de Medellín	Medellín	Suburbana de Trafico
MED-CORA	Corantioquia	Medellín	Urbana de Tendencia Mesoescala
MED-PJIC	Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	Medellín	Urbana de Trafico
MED-LAYE	Tanques La Ye	Medellín	Suburbana de Fondo
ITA-PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando	Itagüí	Urbana de Tendencia Mesoescala
ITA-CJUS	Casa de Justicia de Itagüí	Itagüí	Urbana Industrial
ITA-CRSV	Colegio El Rosario Sociedad San Vicente de Paul	Itagüí	Urbana Industrial
ITA-CONC	Concejo de Itagüí	Itagüí	Suburbana de Fondo
EST-MAGO	Institución Educativa María Goretti	Estrella	Urbana Industrial
EST-METR	Estación metro La Estrella	Sabaneta	Urbana de Trafico
SAB-CAMS	Centro Administrativo Municipal de Sabaneta	Sabaneta	Urbana de Tendencia Mesoescala
CAL-PMER	Plaza de Mercado de Caldas Coperplaza	Caldas	Urbana de Trafico
CAL-LASA	Corporación Universitaria Lasallista	Caldas	Suburbana de Fondo

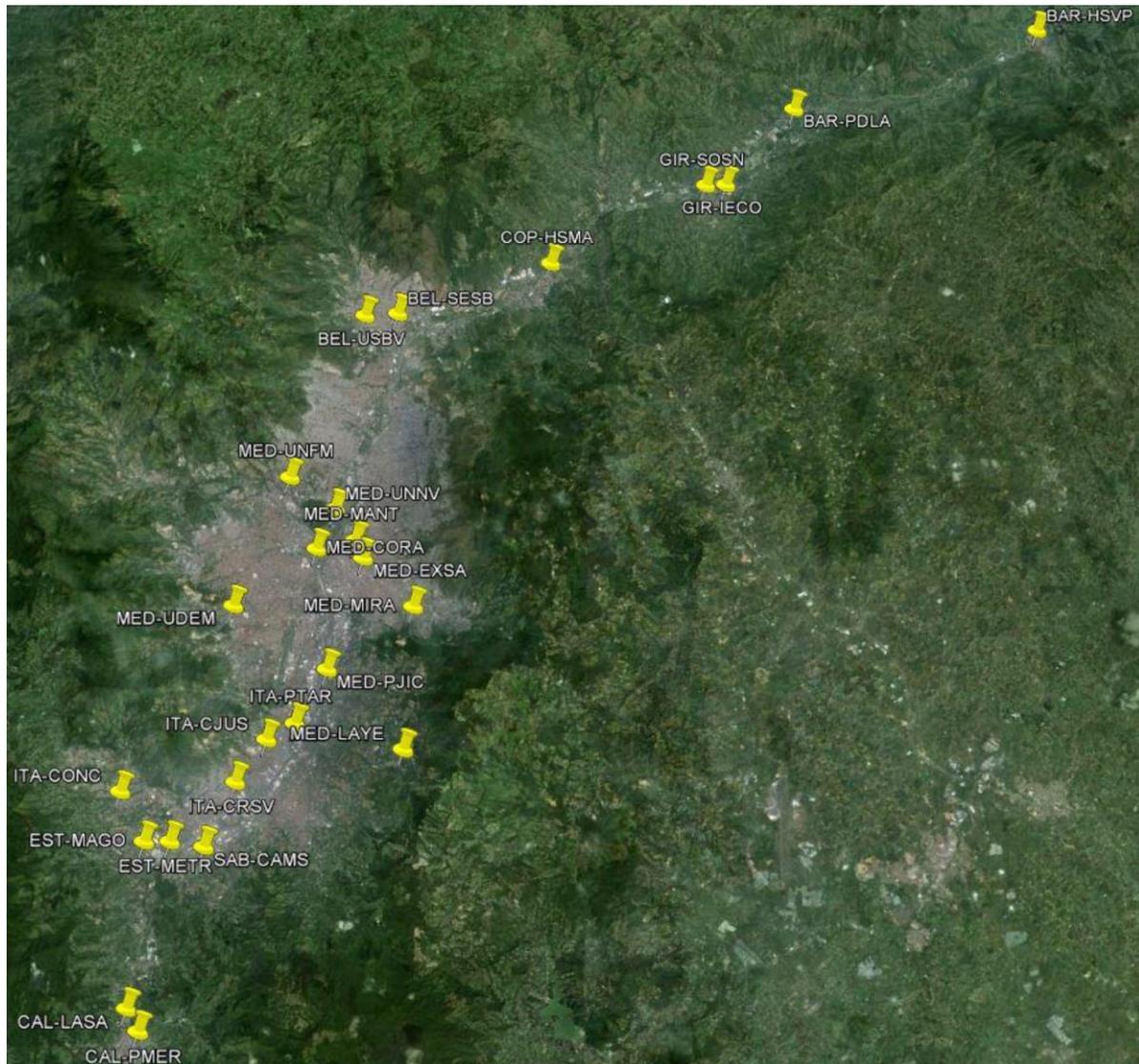


Figura 53. Ubicación de las estaciones automáticas de monitoreo de calidad del aire en el Valle de Aburrá

Fuente: Informe N. °38 del Convenio CI-326 de 2014 N. ° interno 1416_24.1 Informe acumulado enero-mayo de 2016.

Condiciones meteorológicas

El Valle de Aburrá se caracteriza por tener condiciones meteorológicas que favorecen la acumulación de los contaminantes atmosféricos. Las condiciones meteorológicas tienen relación directa con las condiciones específicas de la calidad del aire en la región, debido a que desempeñan un papel

determinante para el transporte, dispersión, transformación y remoción de los contaminantes en el aire. Entre los principales fenómenos meteorológicos que influyen la dinámica de los contaminantes en el Valle de Aburrá se encuentran la temperatura, la velocidad y dirección del viento, la estabilidad atmosférica, la lluvia, la humedad, la presión atmosférica, el albedo superficial y la radiación solar.

Temperatura

La variación de la temperatura de superficie es el principal fenómeno meteorológico que influye la dirección y transporte de los contaminantes en el aire, siendo ésta un indicador de la cantidad de energía solar retenida por el aire. La temperatura media en el Valle de Aburrá varía entre 13 °C y 24 °C en función de la altura, alcanzando la temperatura máxima entre las 12:00 y las 16:00 horas. En el año las mayores temperaturas generalmente se presentan entre los meses de abril y octubre, el cual usualmente corresponde al periodo de lluvias.

Las temperaturas más altas se presentan, de acuerdo con los datos de la red de monitoreo atmosférico, en las estaciones SOS Aburrá Norte, Politécnico Jaime Isaza, Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Medellín, e Institución Educativa Colombia, las cuales están ubicadas en Girardota y Medellín. Para el caso de Medellín, ello podría tratarse de un efecto local llamado isla de calor, el cual se encuentra asociado al gran desarrollo de centros urbanos. Las superficies artificiales construidas retienen más la radiación solar recibida durante el día en comparación con otras áreas de mayor cobertura vegetal, ocasionando mayores temperaturas y cambios climáticos a nivel local.

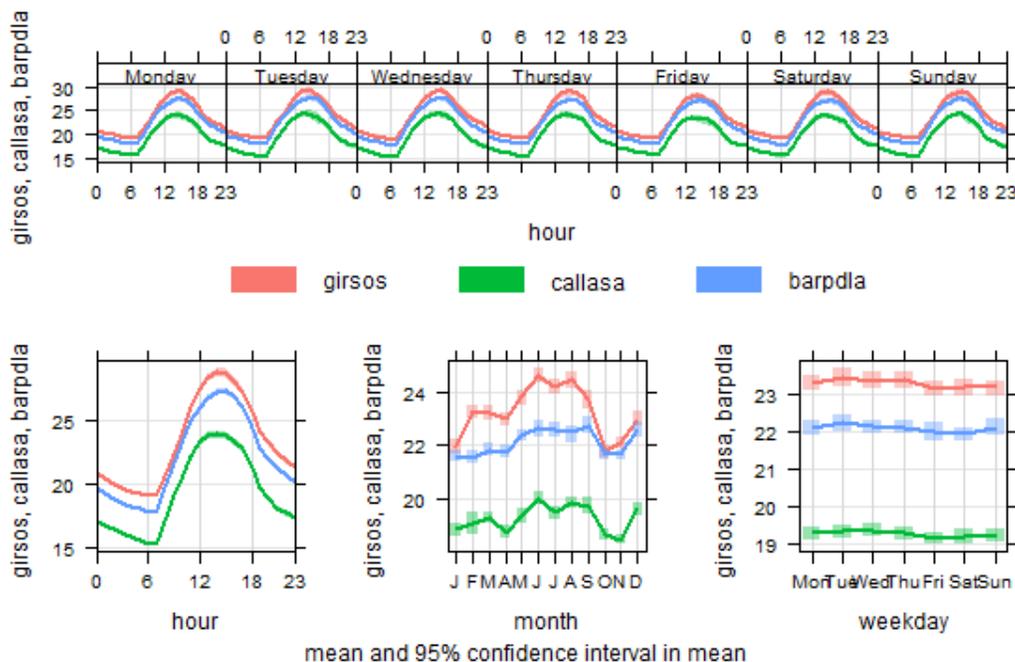


Figura 54. Temperatura media horaria, diaria y semanal en el Valle de Aburrá para el año 2015

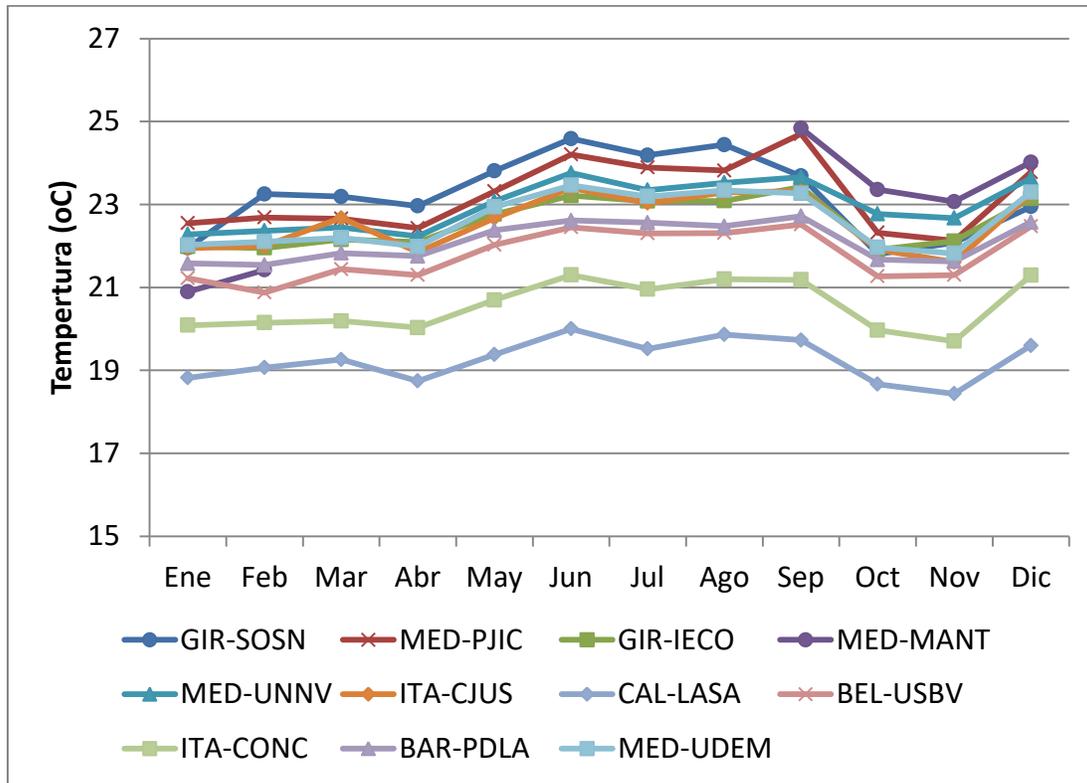


Figura 55. Temperatura media mensual en el Valle de Aburrá para el año 2015

Las temperaturas medias relativamente más bajas de los meses de enero a abril, propician condiciones de mayor estabilidad atmosférica en comparación con el resto del año. Entre más alta es la estabilidad atmosférica, menor es el movimiento vertical de las capas de aire y mayor la posibilidad de que los contaminantes del aire se acumulen.

Por otra parte, la influencia de fenómenos meteorológicos locales puede tener un impacto importante en la ventilación sobre el valle. La creciente urbanización puede alterar la dinámica de las inversiones térmicas y las islas de calor con una influencia importante en la calidad del aire. De acuerdo con Rendón et al. (2014), el cambio de la cobertura del suelo puede modificar el tiempo de ruptura de las inversiones térmicas, alterar el comportamiento del sistema de vientos que atraviesan el valle, provocar una inversión en la dirección de los vientos de pendiente y modificar el patrón de desintegración de las inversiones térmicas. En presencia de una inversión térmica por debajo de la altura de las montañas que limitan el valle, la recirculación inducida por la isla de calor podría favorecer la acumulación de los contaminantes hacia el centro a través de diferentes mecanismos de transporte. La expansión de la urbanización más allá del piso del valle hacia las laderas montañas, generaría un calentamiento que a su vez incrementaría la velocidad de los vientos que ascienden sobre las pendientes montañosas. Si bien, se esperaría que el crecimiento del área urbana esté acompañado por un incremento en el área e

intensidad de la isla de calor, no se conoce aún con detalle los efectos que esto tendrá en la climatología de la cuenca, la calidad del aire y en general en el medio ambiente, por lo que existe un campo de estudio importante en este tema. En este punto es importante mencionar que el estudio de la climatología urbana y de montañas en regiones tropicales se encuentra en una fase incipiente, sin embargo, es una necesidad fundamental para muchas ciudades de Latinoamérica asentadas en terrenos complejos (Palacio y Jiménez, 2012).

A nivel regional, particularmente en los trópicos y subtrópicos, los aerosoles pueden disminuir la radiación solar promedio absorbida por la superficie y aumentar el calentamiento atmosférico en la capa de la troposfera contigua al suelo, modificando el clima local. El tamaño de los aerosoles puede modificar también el régimen pluvial de una región e incrementar el tiempo de vida de los aerosoles al suprimir la precipitación, que es uno de los principales mecanismos de deposición de los aerosoles (Ramanathan et al., 2001).

Velocidad y dirección del viento

El viento es generado a partir de las diferencias de presión atmosférica, desplazando de zonas de alta presión a zonas de baja presión. La velocidad y dirección del viento permite el transporte, dispersión y transformación de los contaminantes, lo cual puede estar también relacionado con la aparición de altas concentraciones de contaminantes en lugares de bajas emisiones. Por su localización en la cordillera central y entre montañas, el Valle de Aburrá se caracteriza por la presencia de vientos relativamente suaves y constantes, siendo su comportamiento determinado principalmente por los vientos alisios dominantes del noreste y cuyo recorrido es modificado por la topografía.

De acuerdo con los registros de la red de monitoreo, la velocidad del viento en el Valle de Aburrá se intensifica en horas de la tarde entre las 12:00 y las 16:00 horas, con velocidades entre los 0.5 m/s y 3.0 m/s (ver Figura 56). La velocidad máxima reportada en el 2015 asciende hasta los 6.5 m/s (ver Figura 57).

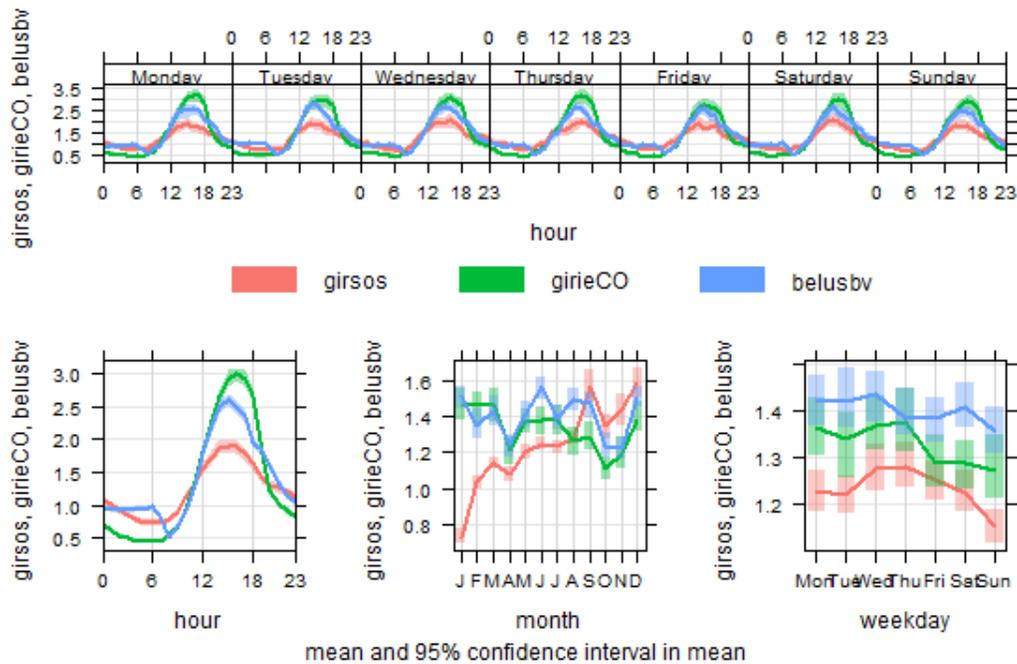


Figura 56. Variación de la velocidad del viento reportada por las estaciones centrales de la red de monitoreo del aire para el año 2015

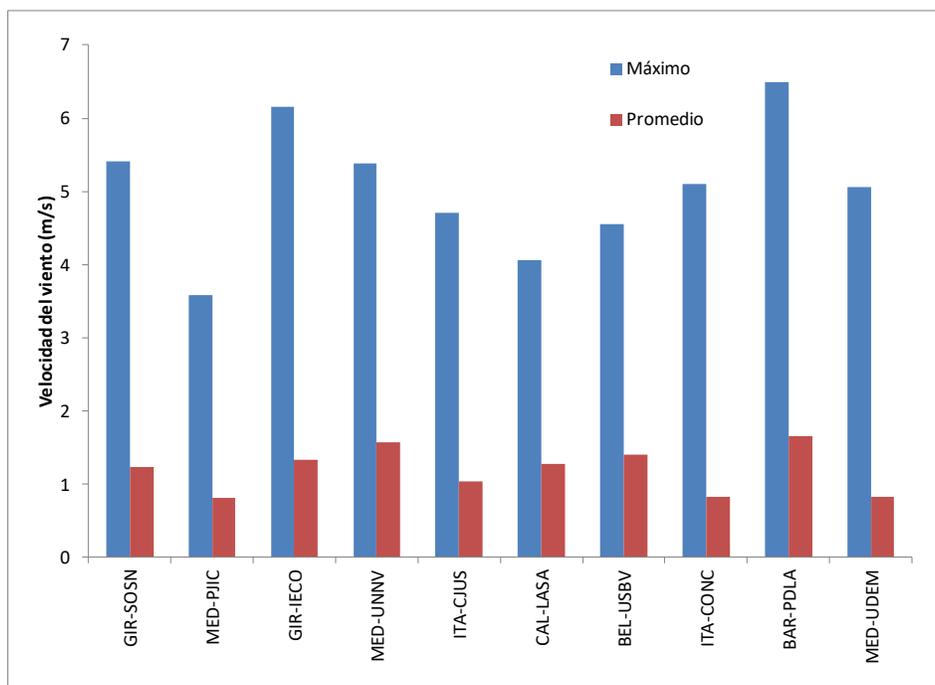


Figura 57. Velocidad del viento promedio y máxima para el año 2015

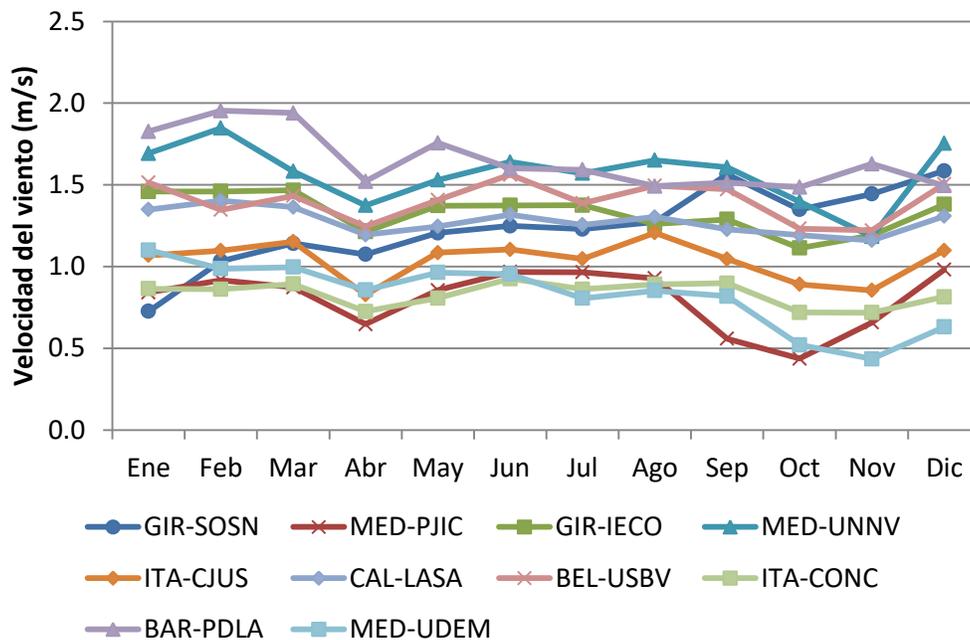


Figura 58. Velocidad del viento promedio mensual estaciones de monitoreo de la calidad del aire para el año 2015

En algunas de las estaciones se observa que durante los primeros meses las velocidades del viento son mayores que en el resto del año pero inferiores a 2 m/s (v.g. Parque de las Aguas, Universidad Nacional de Colombia, Institución Educativa Colombia, Corporación Universitaria Lasallista, Universidad de Medellín), ver Figura 58. Cabe destacar que una característica dominante del Valle de Aburrá es la baja velocidad de los vientos con velocidades predominantes entre 2.0 - 4.0 m/s.

En la Figura 59 se presentan las rosas de vientos del año 2015 para las estaciones de monitoreo de calidad del aire. Como se puede observar la dirección predominante del viento en el norte del Valle (Parque de las Aguas, Institución Educativa Colombia y Universidad San Buenaventura), es en sentido noreste y éste principalmente durante el día y noche con algunas variaciones en sentido suroccidente. En la parte central (Universidad Nacional de Colombia, Politécnico Jaime Isaza y Casa de Justicia Itagüí) predominan los vientos norte – sur y noreste durante la mayoría del tiempo (día y noche) a lo largo del Valle, y al sur (Concejo de Itagüí y Corporación Universitaria Lasallista) las direcciones del viento durante las horas del día provienen del noroccidente y sur principalmente, mientras que en la noche las direcciones predominantes son norte y occidente. Adicionalmente, las velocidades en el norte del Valle suelen ser más fuertes que las del centro y sur, las cuales son relativamente bajas. Las bajas velocidades en el Valle de Aburrá hacen que no exista una rápida dispersión de los contaminantes generados en las fuentes de emisión, lo cual propicia su acumulación y la elevación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos.

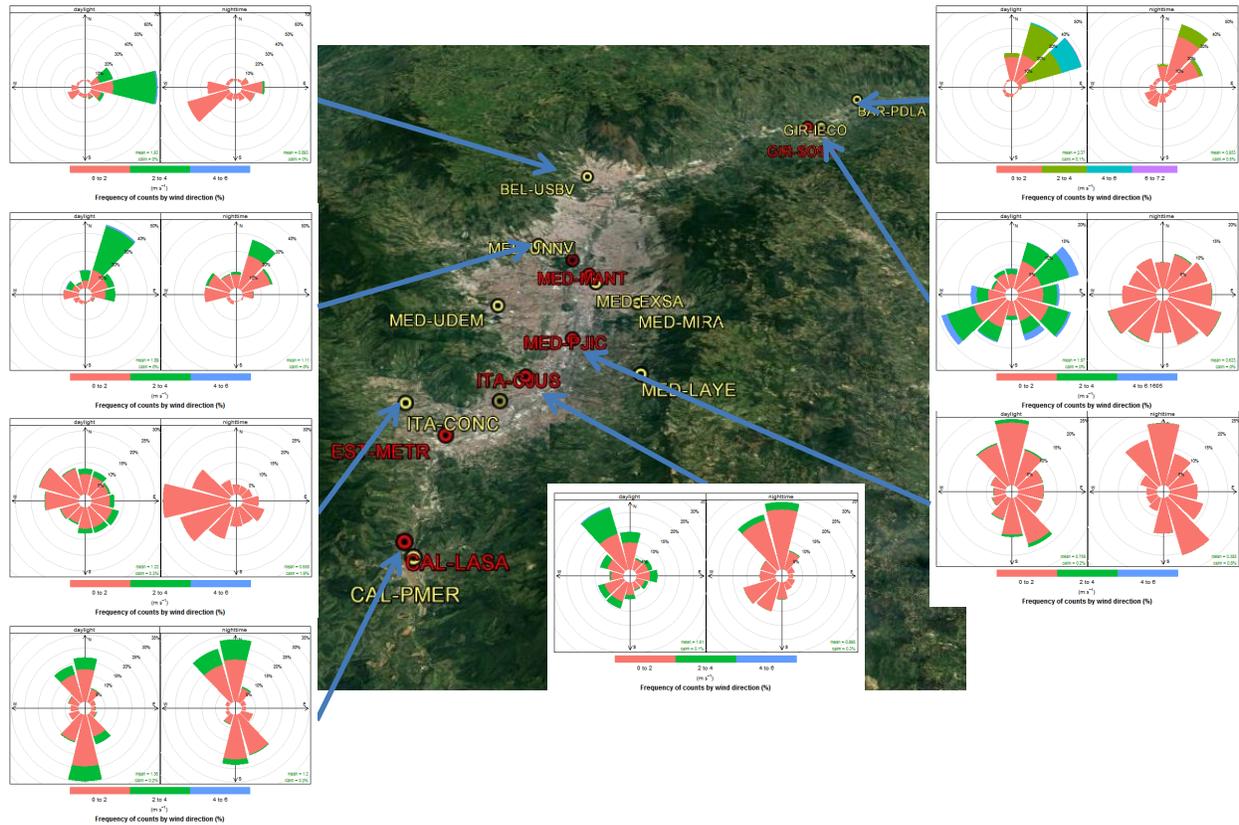


Figura 59. Rosas de viento de las horas del día (izquierda) y la noche (derecha) para el año 2015

Precipitación

La precipitación del Valle de Aburrá se caracteriza por dos temporadas de lluvias que se presentan alrededor de los meses de abril y octubre, los meses más cálidos que el resto del año. Generalmente, la lluvia es favorable para la remoción de los contaminantes de la atmósfera y por lo tanto para la disminución de sus concentraciones en el aire. No obstante, en el Valle de Aburrá se observa que las concentraciones de $PM_{2.5}$ pueden aumentar durante la época de lluvias. Ello podría explicarse por el hecho de que durante esa época se tienden a formar capas de nubes espesas que limitan la penetración de la radiación solar a la superficie del valle, provocando un enfriamiento relativo del aire próximo al suelo. En esas condiciones, la diferencia de temperaturas entre el aire superficial (relativamente más frío) y las capas a mayores alturas (más cálidas) provoca un fenómeno de estabilidad atmosférica conocido como inversión térmica. Debido a la inversión térmica el aire superficial se estanca y ello ocasiona la acumulación de los contaminantes emitidos en una capa comprimida de alrededor de 200 metros de altura.

Por otro lado, la precipitación puede resultar en el lavado de algunos contaminantes atmosféricos de la atmósfera, dependiendo de la composición y condición del contaminante. No obstante, también está asociada a un incremento en los niveles de humedad del aire, la cual puede influir en la química atmosférica durante la formación de compuestos secundarios. En el caso de las partículas, puede contribuir al crecimiento higroscópico de las partículas, favorecer la presencia de aerosoles en fase acuosa, y propiciar la formación de partículas secundarias vía fase acuosa. La acumulación de precipitación alcanzó los 920 mm en el mes de octubre del año 2015.

El clima en Colombia está determinado por la interacción de fenómenos de diferentes escalas temporales y espaciales. En términos de la variación anual, la oscilación meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es el mecanismo físico de mayor importancia que explica el ciclo anual de la hidro-climatología de Colombia. Sin embargo, la advección de humedad por los vientos alisios del este, la actividad del chorro del Chocó y los sistemas convectivos de mesoescala tienen una contribución adicional importante. Como resultado del movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical, suelen presentarse dos temporadas lluviosas (abril-mayo y octubre-noviembre) y dos temporadas secas (diciembre-febrero y junio-agosto) en la zona central del país. Esto explica el comportamiento bimodal en la distribución anual de la precipitación en el Valle de Aburrá, con máximos entre abril-mayo y octubre-noviembre, y mínimos en diciembre-enero y julio-agosto.

Durante octubre a noviembre, la zona de convergencia se desplaza hacia el sur, hasta alcanzar el máximo desplazamiento en enero (verano del hemisferio sur). Mientras que, durante abril y mayo se desplaza hacia el norte. La zona de convergencia es una región de convergencia superficial de los vientos alisios donde ocurren bajas presiones atmosféricas en la superficie, con desarrollo de mecanismos convectivos que propician alta nubosidad y divergencia en la atmósfera superior. La corriente de vientos en chorro del occidente de Colombia, denominada chorro del Chocó, acarrea humedad desde el Océano Pacífico al interior del país. Estos vientos exhiben un marcado ciclo anual, con una mayor intensidad en los meses de septiembre a noviembre, que disminuye durante los meses de febrero a marzo; esto explica por qué la segunda temporada lluviosa (septiembre a noviembre) es generalmente de mayor intensidad que la primera.

La presencia de 'El Niño/Oscilación del Sur' puede modificar significativamente los patrones climáticos anuales. Generalmente, en episodios de El Niño disminuye la precipitación y, en consecuencia, los caudales de los ríos de Colombia; además se presentan incrementos en las temperaturas medias del aire, disminuye la humedad del suelo, así como en la actividad vegetal. Durante 'La Niña' ocurren anomalías contrarias, con eventos intensos de precipitación, crecidas de ríos, avalanchas e inundaciones de planicies aluviales. Poveda, G. (2004).

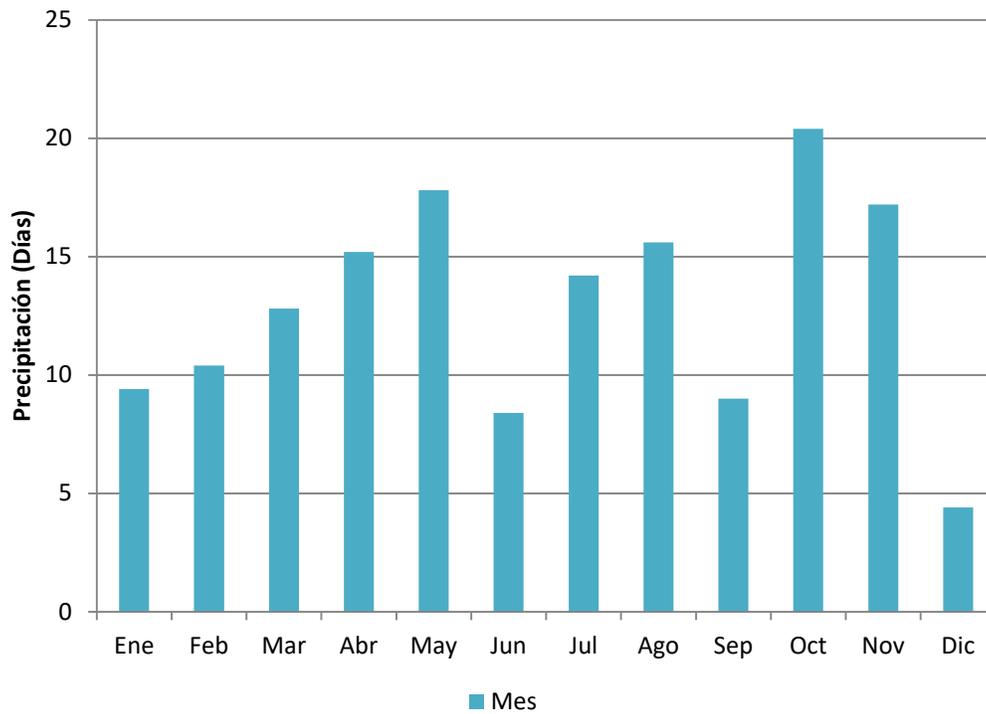


Figura 60. Días de precipitación por mes para el año 2015

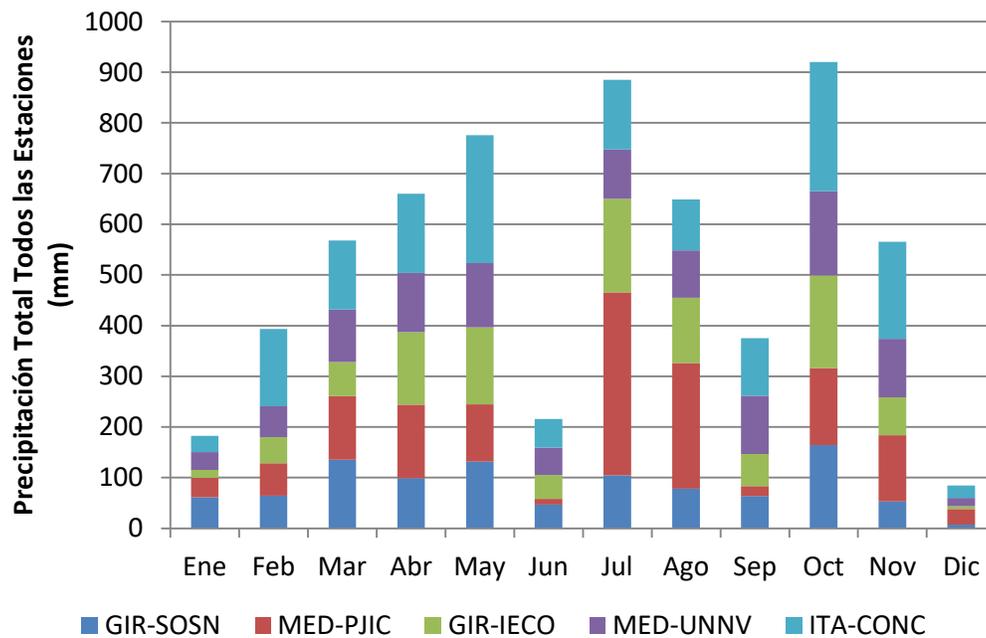


Figura 61. Acumulado de precipitación por mes para el año 2015

Presión atmosférica

La presión atmosférica se define como la fuerza por unidad de área ejercida contra una superficie por el peso de la columna de aire que se encuentra arriba de dicha superficie. Los factores que afectan la presión atmosférica son la altura con respecto al nivel del mar y la temperatura del aire.

Con respecto a la altura, la presión estándar a nivel mar es igual a 1.013 hPa. Este nivel de presión atmosférica disminuye con la altura, principalmente en los primeros kilómetros contados a partir del nivel del mar.

En relación con la temperatura, la presión atmosférica en un sitio determinado tiene variaciones que dependen de la temperatura de las moléculas de la columna de aire que se encuentra sobre éstos. Ello se debe a que una masa de aire relativamente caliente ejerce una menor presión contra el suelo que otra de aire más frío porque es menos densa y por lo tanto de menor peso.

En la atmósfera se encuentran presentes masas de aire con distintas temperaturas en contacto entre sí y desplazándose unas al lado de otras. Como el aire es mal conductor de calor, las distintas masas de aire preservan sus características aun cuando estén en contacto, dando lugar a zonas de baja y alta presión que se desplazan y posan temporalmente a lo largo de los territorios.

Por una parte, las zonas de baja presión son formadas por aire cálido menos denso que tiende a ascender llevando consigo vapor de agua que se enfría al subir, condensándose y formando nubes y lluvia. Generalmente, la lluvia contribuye al lavado atmosférico y por lo tanto a una reducción de la contaminación atmosférica. No obstante, la formación de nubes bajas puede significar una menor penetración de radiación solar a la superficie, y por lo tanto la formación de inversiones térmicas que inhiben la dispersión vertical de los contaminantes, como en el caso del Valle de Aburrá.

Por otra parte, zonas de alta presión son formadas por masas de aire relativamente más frío, denso y pesado, el cual tiende a descender esparciéndose por la base hacia zonas de baja presión (B.P.). Los sistemas de alta presión favorecen cielo despejado, así como mayor insolación y temperatura, propicios para la formación de ozono.

En la Figura 61 se aprecia que los menores niveles de presión atmosférica se presentan en el Valle de Aburrá en el período enero-mayo y en el de septiembre a diciembre, con un promedio de 633 hPa con variaciones mínimas a lo largo del año. A lo largo del Valle la presión atmosférica mensual promedio varía entre 632.55 hPa y 635.5 hPa .

La variación en la presión atmosférica depende de las interacciones meteorológicas de escala sinóptica determinadas fuertemente por el sistema de circulación intertropical. Durante los primeros meses del año el sistema de circulación intertropical se encuentra en su posición meridional, mientras que el carácter ciclónico (asociado a bajas presiones) se desplaza gradualmente hacia el norte alcanzando la cordillera Central a fines de abril y principios de mayo. En los meses de junio y agosto, la mayor parte del continente se encuentra bajo la influencia del cinturón meridional de alta presión (anticiclónico), mientras que la zona intertropical de convergencia se encuentra activa entre las latitudes de 10 a 20° N. Esta situación provoca sobre el país, corrientes del sureste, reforzando un carácter anticiclónico en las vertientes occidentales de las cordilleras Central y Occidental que provocan un incremento en la velocidad del viento, cielos despejados y baja humedad relativa, el incremento en la presión barométrica en la superficie hace evidente la presencia de este sistema. Durante los meses de octubre y noviembre, el avance de las masas subtropicales desde el noroeste alcanza la zona central generando una condición ciclónica. Las variaciones en la posición del sistema de circulación tropical que ocurren de año en año, explican las variaciones anuales que se observan en la presión barométrica.

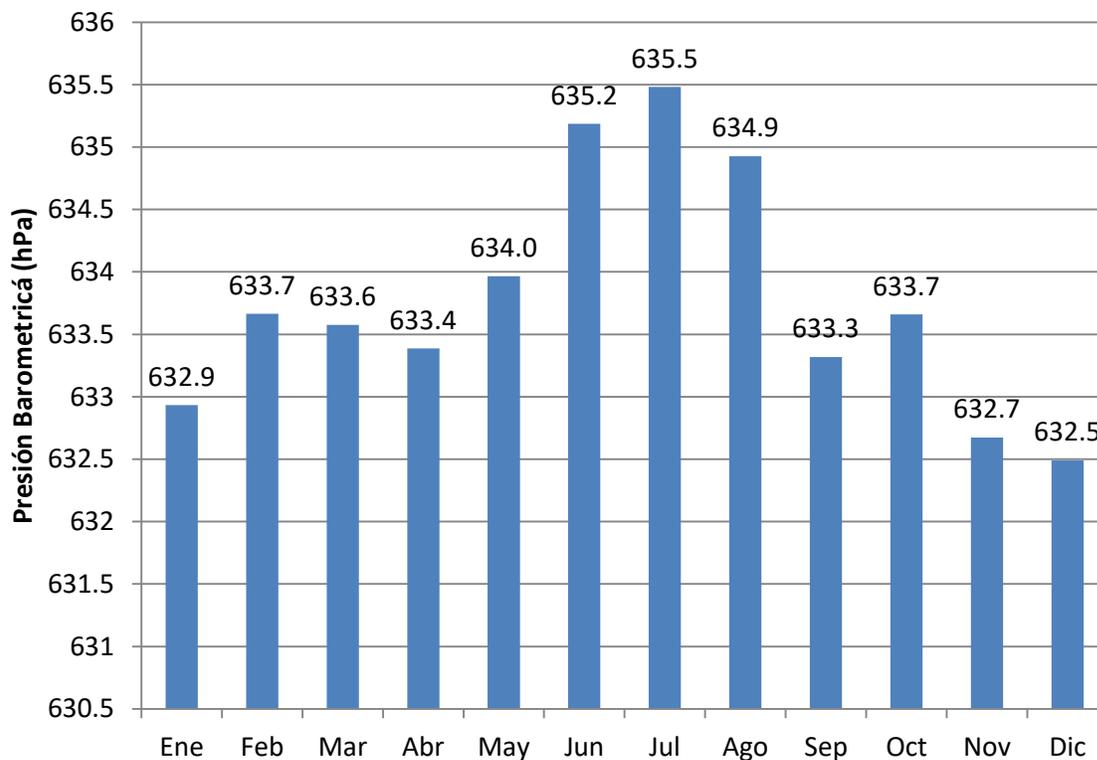


Figura 62. Presión atmosférica promedio mensual para el año 2015

Humedad

La humedad corresponde a la presencia de vapor de agua en el aire. Lluvias abundantes conllevan a mayores niveles de humedad en el aire, que en las primeras horas de la mañana podría inducir a la formación de niebla y acumulación de partículas contaminantes. Los mayores niveles de humedad relativa en el Valle de Aburrá se presentaron en los meses de abril, octubre y noviembre, con un máximo de 80% y un mínimo de 51%, tal y como se muestra en la Figura 63. Niveles altos de humedad pueden exacerbar la formación en la atmósfera de partículas de origen secundario, que pueden propiciar mayores niveles de concentración de partículas. La presencia de la humedad en el perfil atmosférico determina el movimiento vertical de las masas de aire, la formación y estructura de la nubosidad, y desempeña un papel importante en la estabilidad atmosférica.

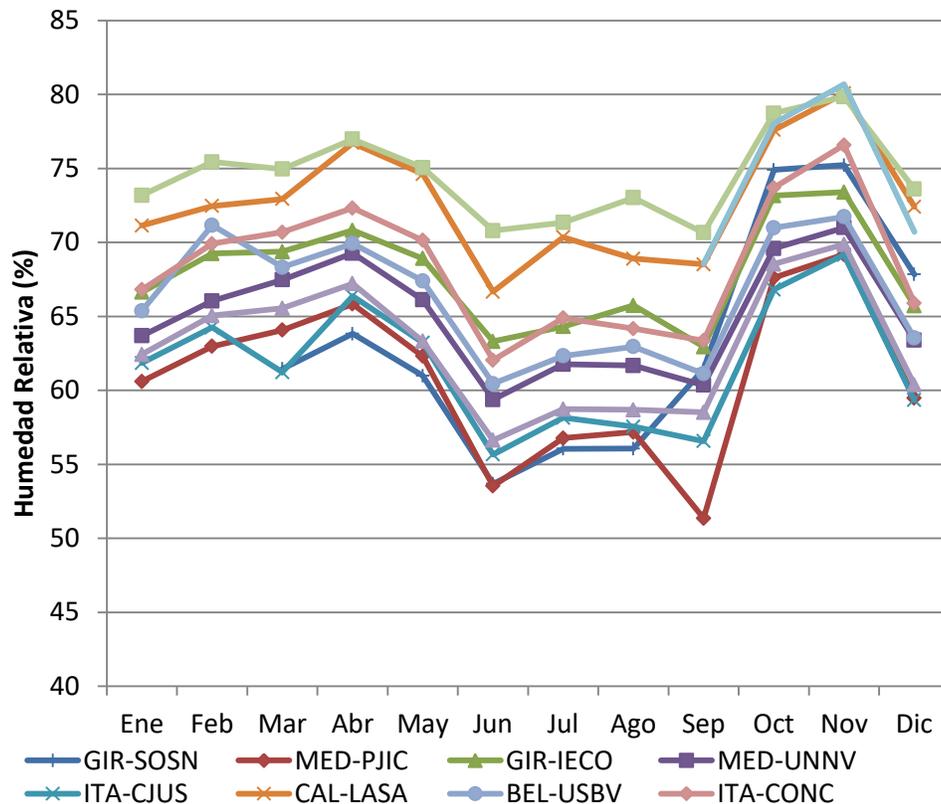


Figura 63. Humedad relativa promedio mensual para el año 2015

Radiación solar global

De la fracción de energía que alcanza la superficie terrestre, el 70% es absorbido por la tierra. Este parámetro es importante porque influye sobre procesos fisicoquímicos ocurridos entre los

contaminantes. Asimismo, su medición y comunicación al público es trascendente para proteger a la población de la exposición a altos niveles de radiación solar. La Figura 64 muestra que los valores de radiación solar global en el Valle de Aburrá para el año 2015, varían entre un mínimo 172.37 W/m^2 en noviembre y un máximo de 212 W/m^2 en septiembre. Una alta radiación solar propicia reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles que dan lugar a la formación de contaminantes secundarios tales como el ozono.

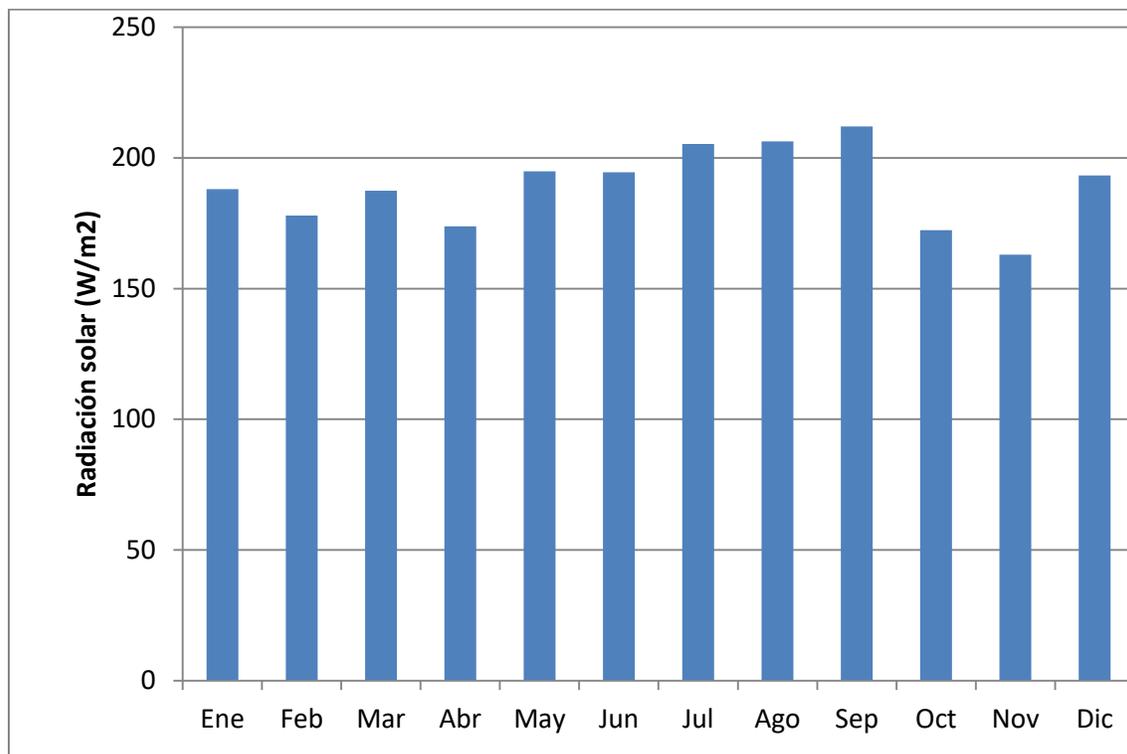


Figura 64. Radiación solar promedio mensual para el año 2015

Comportamiento histórico y tendencias de calidad del aire

Esta sección presenta un análisis de las tendencias de la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá, el cumplimiento de las normas colombianas y una investigación inicial sobre algunas posibles fuentes de contaminación del aire asociadas con los sitios donde se presentan las concentraciones más altas. Para fines de este análisis, es importante comprender el papel de los contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios se emiten directamente de una fuente, mientras que los contaminantes secundarios se forman cuando los contaminantes primarios reaccionan en la atmósfera. El ozono se forma exclusivamente a partir de reacciones en la atmósfera y no se emite directamente de ninguna fuente, y cuando los compuestos orgánicos volátiles (VOC) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) se combinan en presencia de radiación ultravioleta del sol. La emisión de NO_x proviene principalmente de

camiones, autos particulares y buses, mientras que la emisión de VOC proviene principalmente de motos, autos particulares y camiones. Las concentraciones de partículas, en especial $PM_{2.5}$, están formadas por una combinación de contaminación primaria y secundaria. Las $PM_{2.5}$ de origen secundario se forman a partir de reacciones químicas de gases tales como dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (VOC). El análisis de estos gases precursores y la consideración de medidas para reducir sus emisiones son por tanto benéficos para reducir los niveles de ozono y $PM_{2.5}$.

Normas de calidad del aire

Las primeras normas de calidad del aire, junto con niveles máximos permisibles de emisión y medidas para el control de fuentes de emisión fueron implementadas en Colombia a través del Decreto Nacional 02 de 1982, el cual fue actualizado mediante el Decreto 948 de 1995 y las resoluciones que lo reglamentaron. Este decreto tuvo el fin de establecer normas sobre fuentes de emisión, responsabilidades de la autoridad ambiental en la gestión de calidad de aire y en el otorgamiento de permisos de emisiones, inspección de emisiones, planes de emergencia, y seguimiento al reporte de emisiones y cumplimiento por parte de los responsables de las fuentes de emisión.

Una década después, el Consejo Nacional de Política Económica y Social estableció los lineamientos para formular estrategias de prevención y control de contaminación de aire de manera “eficaz, coordinada y justa” (CONPES 3344 del 2005). La normatividad fue nuevamente actualizada a nivel nacional, siguiendo dichos lineamientos, a través de un conjunto de resoluciones promulgadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. La Resolución 601 de 2006 estableció los estándares de calidad del aire, procedimientos de monitoreo, niveles de emergencia y medidas de mitigación generales; y las Resoluciones 909 y 910 de 2008 establecieron los niveles máximos permisibles de emisiones para fuentes fijas y fuentes móviles respectivamente, al igual que las directrices para determinar el cumplimiento de origen de estos límites.

Más allá, resoluciones posteriores han modificado parte de esta normatividad. En particular, la Resolución 610 de 2010 modificó la Resolución 601 y actualizó los estándares de calidad del aire, incluyendo como contaminante criterio el $PM_{2.5}$. Las normas de calidad del aire vigentes en Colombia se muestran en la Tabla 9, junto con las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud. Las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, fueron diseñadas para ofrecer orientación en la reducción de los impactos de la contaminación del aire en la salud. Estas guías se basan en la evaluación experta de la evidencia científica actual, relacionada con los impactos en la salud de contaminantes individuales. Fueron desarrolladas por primera vez en 1987 (OMS, 1987) y actualizadas en 1997 (OMS, 2000). Una actualización subsiguiente para material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre fue llevada a cabo en 2005 (OMS, 2006).

Tabla 9. Normatividad colombiana de niveles máximos permisibles para contaminantes criterio (Resolución 610 de 2010) comparada con las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud

Contaminante	PM _{2.5} (µg/m ³)		PM ₁₀ (µg/m ³)		Ozono (µg/m ³)		SO ₂ (µg/m ³)					NO ₂ (µg/m ³)			CO (mg/m ³)	
	24-hr	Annual	24-hr	Annual	1-hr	8-hr	10 min	1-hr	3-hr	24-hr	Annual	1-hr	24-hr	Annual	1-hr	8-hr
Colombia	50	25	100	50	120	80	-	-	750	250	80	200	150	100	40	10
Organización Mundial de la Salud (OMS)	25	10	50	20	-	100	500	-	-	20	-	200	-	40	-	-
Objetivo intermedio 1	75	35	150	70	-	160	-	-	-	125	-	-	-	-	-	-
Objetivo intermedio 2	50	25	100	50	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-
Objetivo Intermedio 3	38	15	75	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

La Resolución 650 de 2010 (publicada el 29 de marzo de 2010) establece el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en Colombia, el cual define los siguientes objetivos para los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA):

- Determinar el cumplimiento de las normas nacionales de la calidad del aire.
- Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales.
- Observar las tendencias a mediano y largo plazo.
- Evaluar el riesgo para la salud humana.
- Determinar posibles riesgos para el medio ambiente.
- Activar los procedimientos de control en episodios de contaminación.
- Estudiar fuentes de contaminación e investigar quejas concretas.
- Validar modelos de dispersión de la calidad del aire.
- Adelantar investigaciones científicas.

Cumplimiento de las normas de calidad del aire

Tomando en cuenta la información disponible, los datos de todas las estaciones fueron comparados con la norma colombiana y con los valores de las guías de calidad del aire de la OMS para el 2015. Los



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



resultados se presentan en la Tabla 10, la cual muestra que los contaminantes de mayor interés para la región son el ozono y el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$).

Las concentraciones de ozono exceden la norma colombiana en todas las estaciones donde se monitorea. Por otra parte, las concentraciones de $PM_{2.5}$ superan uno o ambos tiempos de exposición (diaria y anual) de la norma colombiana en todas las estaciones. Las concentraciones de PM_{10} exceden la norma colombiana (diaria y anual) en la mayoría de las estaciones, y en donde no se supera, se encuentra muy cerca de los niveles máximos permisibles, superando los valores de las guías de calidad del aire de la OMS.

Además del cumplimiento de la normatividad, también es importante la frecuencia en que los valores límite establecidos por la normatividad son superados.

Tabla 10. Evaluación del cumplimiento de las normas colombianas y OMS - 2015

Contaminante criterio	Tiempo promedio	Límite de la Norma $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Límite de la OMS $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Parque de las Aguas (BAR-PDLA)	Institución Educativa Colombia (GIR-IECO)	SOS Aburrá Norte (GIR-SOSN)	Universidad San Buenaventura (BEL-USBV)	Universidad Nacional de Colombia (MED-UNNV)	Museo de Antioquia (MED-MAANT)	Éxito San Antonio (MED-EXSA)	Universidad Nacional – Minas (MED-UNFM)	Universidad de Medellín (MED-UDEM)	Politécnico Jaime Isaza (MED-PJIC)	El Pobado Loma Los Balsos (MED-UNEP)	Casa de Justicia Itagüí (ITA-CJUS)	Colegio el Rosario Sociedad (ITA-CRSV)	Concejo de Itagüí (ITA-CONC)	Plaza de Mercado Coperplaza (CAL-PMER)	Corporación Universitaria (CAL-LASA)	Estación Metro La Estrella (EST-METR)
Ozono (O_3)	1 hora	120	-	146			243	243				197		DI			228		214	
	8 horas	80	100	112			126	117				108		DI			147		153	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	40.000	-						6.182		4.866		7.751							3.183
	8 horas	10.000	-						3.764		3.143		4.614							2.606
bióxido de Azufre (SO_2)	3 horas	750	-			51			89											
	24 horas	250	20			44			24											
	Anual	80	-			22			10											
bióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200	200				174	149			201		169		122					124
	24 horas	150	-				36	65			81		78		56					55
	Anual	100	40				17	39			38		49		30					31
Partículas Suspendidas PM_{10}	24 horas	100	50		104		99			112	98		88			108	102	152		
	Anual	50	20		51		46			65	56		47			53	50	68		
Partículas Suspendidas $\text{PM}_{2,5}$	24 horas	50	25					69	82					DI	73		57		92	99
	Anual	25	10					32	40					DI	28		24		30	51

Contaminante criterio	Tiempo promedio	Límite de la Norma $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Límite de la OMS $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Parque de las Aguas (BAR-PDLA)	Institución Educativa Colombia (GIR-IECO)	SOS Aburrá Norte (GIR-SOSN)	Universidad San Buenaventura (BEL-USBV)	Universidad Nacional de Colombia (MED-UNIV)	Museo de Antioquia (MED-MAANT)	Éxito San Antonio (MED-EXSA)	Universidad Nacional – Minas (MED-UNFM)	Universidad de Medellín (MED-UDEM)	Politécnico Jaime Isaza (MED-PJIC)	El Poblado Loma Los Balsos (MED-UNEP)	Casa de Justicia Itagüí (ITA-CIUS)	Colegio el Rosario Sociedad (ITA-CRSV)	Concejo de Itagüí (ITA-CONC)	Plaza de Mercado Coperplaza (CAL-PMER)	Corporación Universitaria (CAL-LASA)	Estación Metro La Estrella (EST-METR)

Excedencia de las guías de calidad del aire (OMS)
 Excedencia de las guías de calidad del aire (OMS) y la norma
 En cumplimiento de las guías de calidad del aire (OMS) y la norma
 Parámetro no medido en el sitio DI=Dato Insuficiente

Nota: Los valores en el recuadro corresponden a concentraciones del contaminante de estudio en cada una de las estaciones de la red de monitoreo.

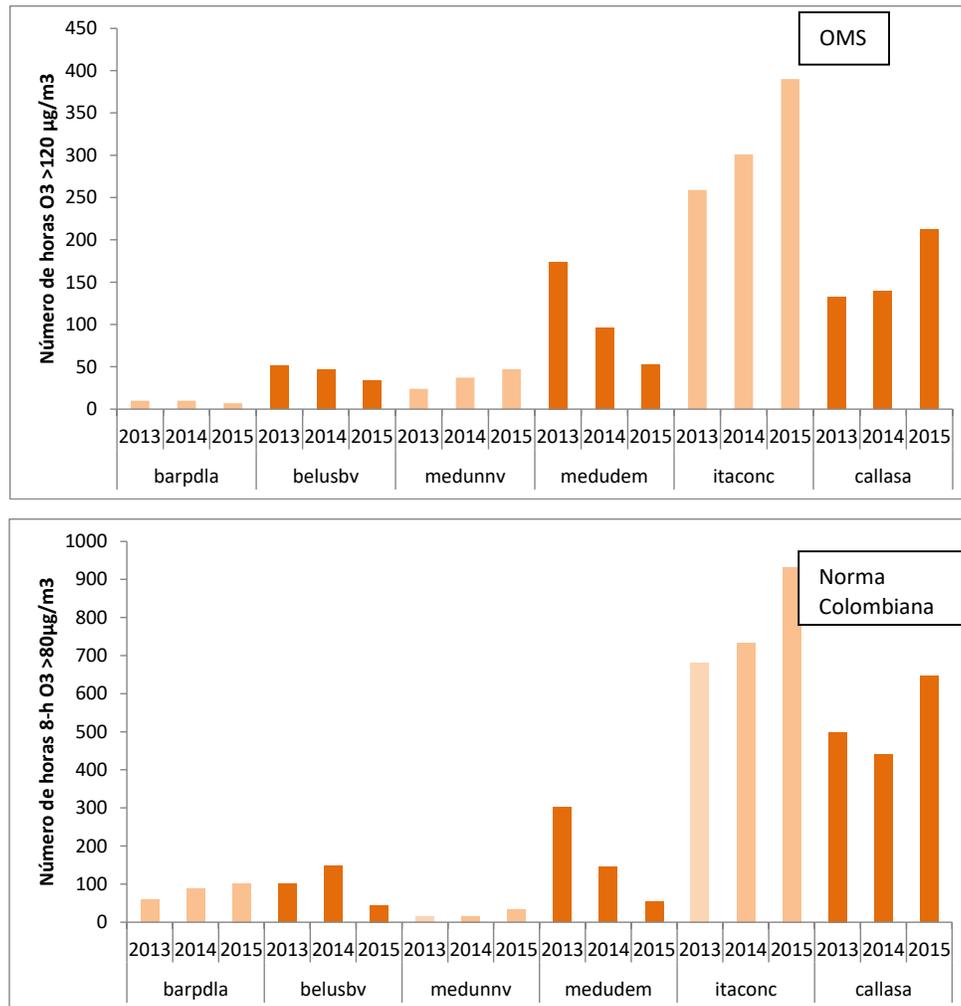


Figura 65. Excedencias a las normas de ozono 2013 – 2015

La Figura 65 muestra el número de excedencias por sitio, para cada uno de los dos estándares de ozono. Como se puede observar, la estación Concejo de Itagüí presenta excedencias significativamente mayores que las demás estaciones de monitoreo de ozono, con casi 400 horas donde la concentración fue mayor de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma por hora). Esta estación suburbana de fondo está localizada a menos de 125 metros de un área residencial, cuya población está expuesta a altas concentraciones de ozono. A continuación, se proporciona un análisis más detallado por contaminante.

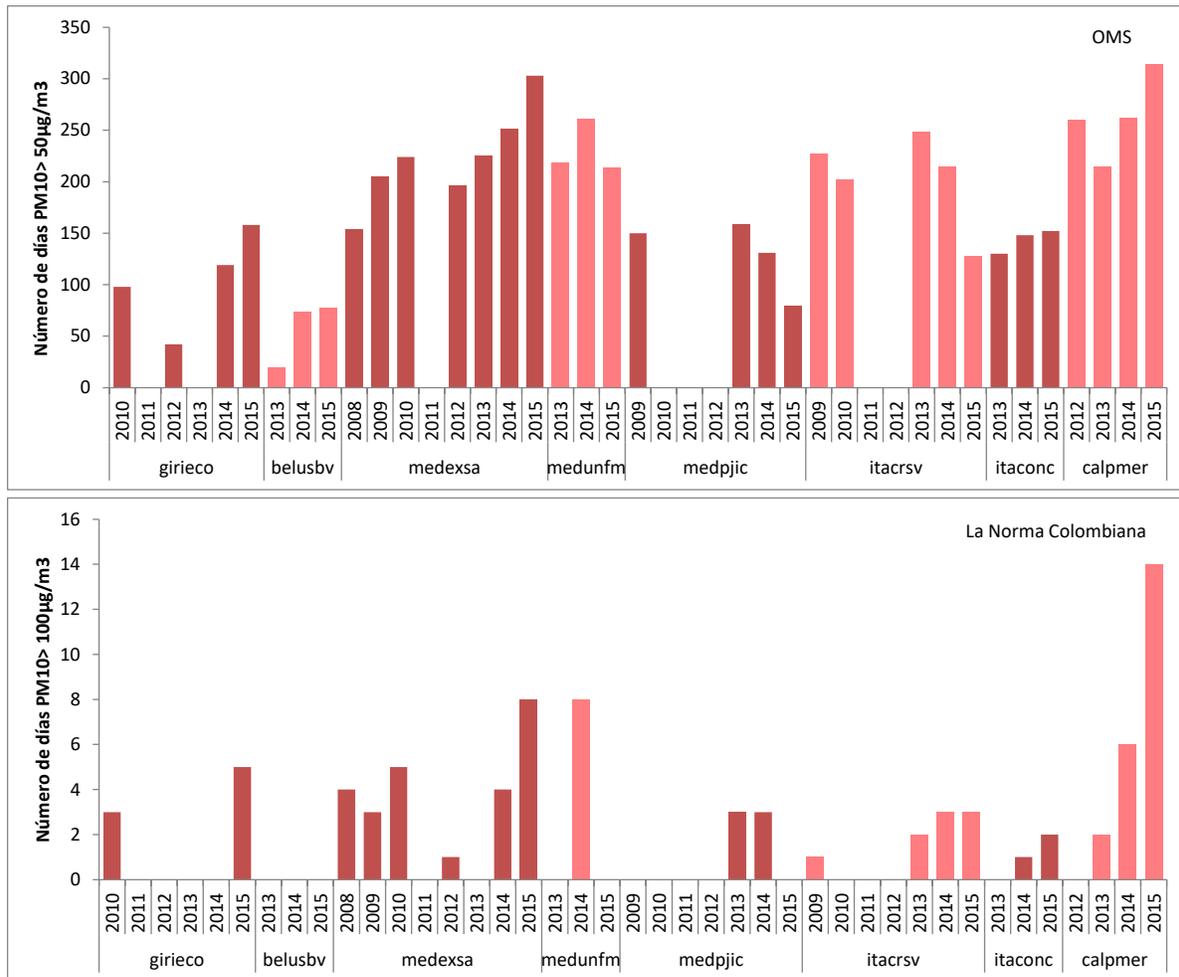


Figura 66. Superaciones de las normas sobre el PM₁₀ – OMS y la Norma Colombiana (2010-2015)

La Figura 66 muestra el número de excedencias de PM₁₀ por estación, con respecto a la norma diaria colombiana y a la guía de la OMS para promedios diarios. La estación Plaza de Mercado Coperplaza tiene el mayor número de excedencias de la norma diaria colombiana. Esta estación es clasificada como urbana de tráfico y al mismo tiempo se trata de un área de densidad poblacional relativamente baja. Por ello, los datos de esta estación son de utilidad para investigar cambios en emisiones por tráfico vehicular indicador, y no tanto para evaluar la exposición de la población. En los últimos tres años se ha visto un incremento del número de excedencias año a año, indicando un aumento en las emisiones debidas al tráfico vehicular que circula en cercanía al parque principal del municipio (transporte público, motos y carga).

La estación Éxito San Antonio es la siguiente en presentar un mayor número de excedencias con respecto a las concentraciones de la guía de la OMS. Esta estación también presenta un incremento anual desde 2012; es clasificada como urbana de tendencia mesoescala. Esta estación aparece ubicada

en el centro de la ciudad con una densidad de población relativamente alta y cerca de una vía (Avenida Oriental). Al igual que la estación Plaza de Mercado Coperplaza, esta estación no se considera como un buen indicador de exposición de la población para el promedio diario, pero puede ser utilizada en conjunto con cambios en el tráfico para investigar variaciones en emisiones debidas al tráfico vehicular.

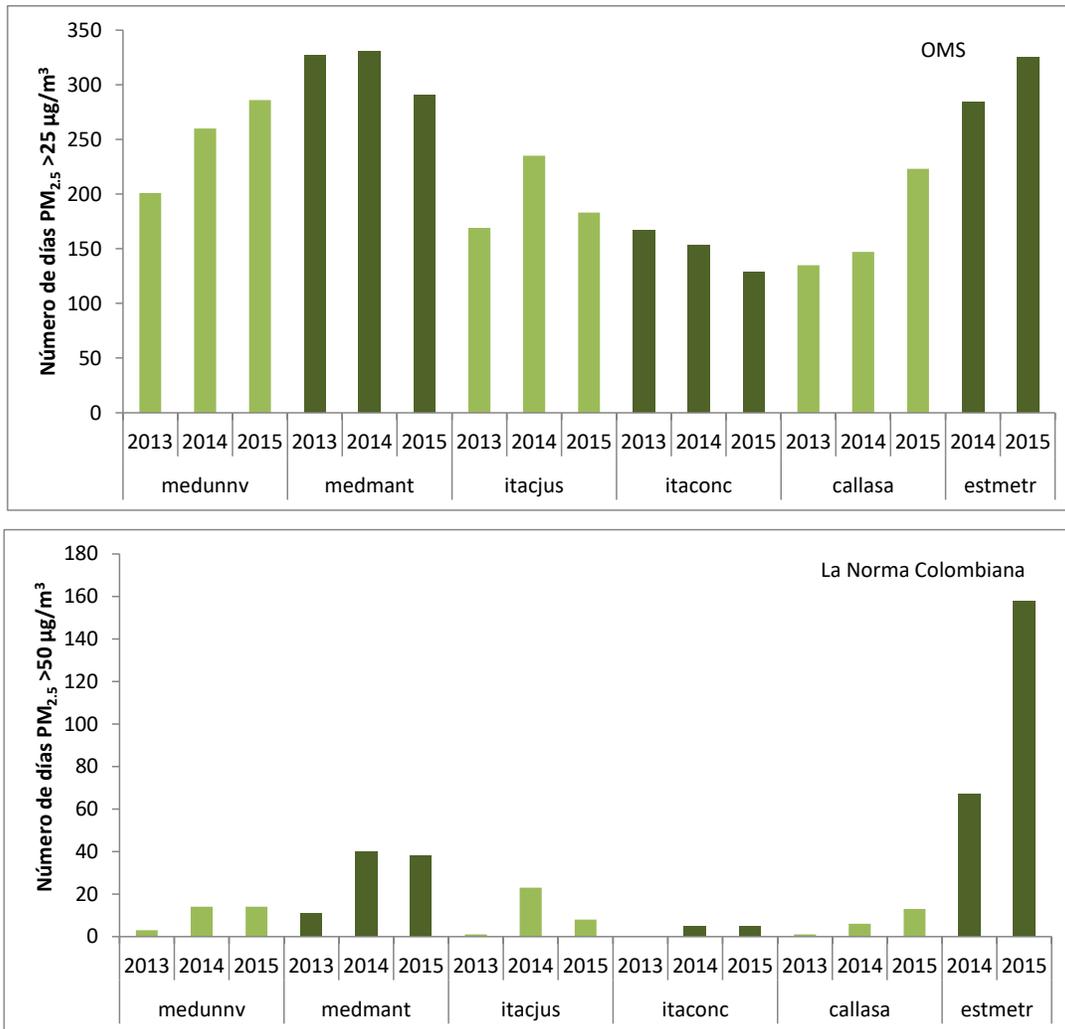


Figura 67. Superaciones de las normas sobre el $PM_{2.5}$ – OMS y la Norma Colombiana

La Figura 67 muestra el número de excedencias de $PM_{2.5}$ por estación, para la norma diaria colombiana y para la guía de la norma diaria de la OMS. La estación Metro La Estrella tiene el mayor número de excedencias de la norma colombiana. La estación está fuertemente influenciada por las emisiones del tráfico vehicular local. Es de esperarse que la escala espacial representada por la estación sea de una escala micro, por lo tanto, las mediciones no son representativas para un área mayor que el área de influencia directa de las fuentes, esto es, menos de 500 metros. Debido al tipo de estación, con una

marcada influencia de las fuentes de emisión, las concentraciones son un reflejo de un problema de contaminación muy localizado. La estación Museo de Antioquia es la siguiente con el mayor número de excedencias de las concentraciones de la guía de la OMS. Esta estación es clasificada como estación de tráfico. De acuerdo con el diagnóstico del sistema de vigilancia de la calidad del aire, existen interferencias en el sitio de monitoreo que pueden llevar a una subestimación de la concentración de contaminantes asociados al tráfico vehicular: 1) la estación se encuentra a la entrada del parqueadero del Museo de Antioquia, lo cual puede representar una interferencia para un sitio que está orientado a la caracterización de las emisiones del tránsito vehicular; y 2) las barreras de árboles que rodean el parqueadero constituyen un obstáculo entre la estación y las calles, esto podría producir una subestimación en las concentraciones de los contaminantes asociados al tránsito vehicular.

Análisis de la variación temporal y geográfica de la concentración de los contaminantes

En esta sección se realiza una revisión detallada a las tendencias temporales y patrones de datos de los contaminantes criterios: ozono, PM_{10} y $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 y CO. Es importante tener en cuenta que esta sección se enfoca en reportes anuales y mensuales. Análisis adicionales se llevaron a cabo para ambas tendencias temporales horarias, teniendo en cuenta su relación con la dirección y velocidad del viento, para las estaciones de mayor significancia en la exposición de la población a partículas y emisiones de precursores de ozono, esto una vez se hayan finalizado las correcciones de conjuntos de datos para cada estación de monitoreo.

Ozono O₃

La Figura 68 muestra las tendencias mensuales de concentración de ozono en cada una de las seis estaciones de monitoreo. Se observa solo una estación (Universidad de Medellín) con una reducción consistente en las concentraciones de ozono durante el periodo de 2012 a 2015. En general, las demás estaciones muestran una tendencia general estable con un incremento reciente en los últimos años.

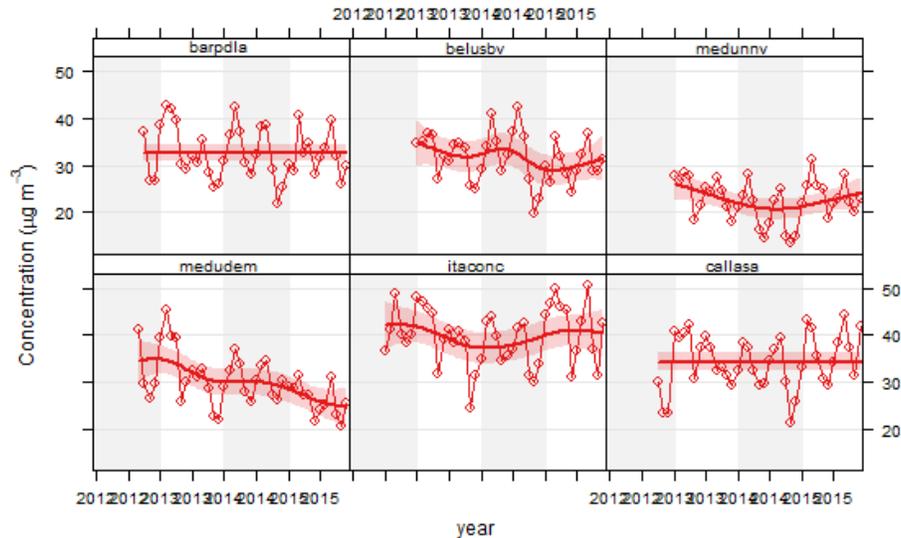


Figura 68. Tendencia en el promedio mensual de concentraciones de ozono – año 2012-2015

Considerando la Figura 65 y la Figura 68, las estaciones de monitoreo con las concentraciones de ozono más altas son Concejo de Itagüí y Corporación Universitaria Lasallista. Esto se explica debido a la localización de estas dos estaciones, en los bordes de la zona urbana viento abajo de las principales fuentes de precursores. Ambos sitios están expuestos a masas de aire emitidas viento arriba en cuyas trayectorias los óxidos de nitrógenos y los hidrocarburos han reaccionado para producir ozono. En sitios localizados cerca de emisiones recientes de NO_x y VOC, las concentraciones de ozono son típicamente más bajas debido a que el ozono puede ser removido de la atmósfera como resultado de equilibrios químicos. Esta remoción ocurre más frecuente en las zonas urbanas que en las rurales, porque existen mayores emisiones de NO_x y VOC en las ciudades. La ubicación de estas dos estaciones, alejadas de áreas urbanizadas centrales, explica las altas concentraciones de ozono. Estas dos estaciones se investigan con más detalle a continuación.

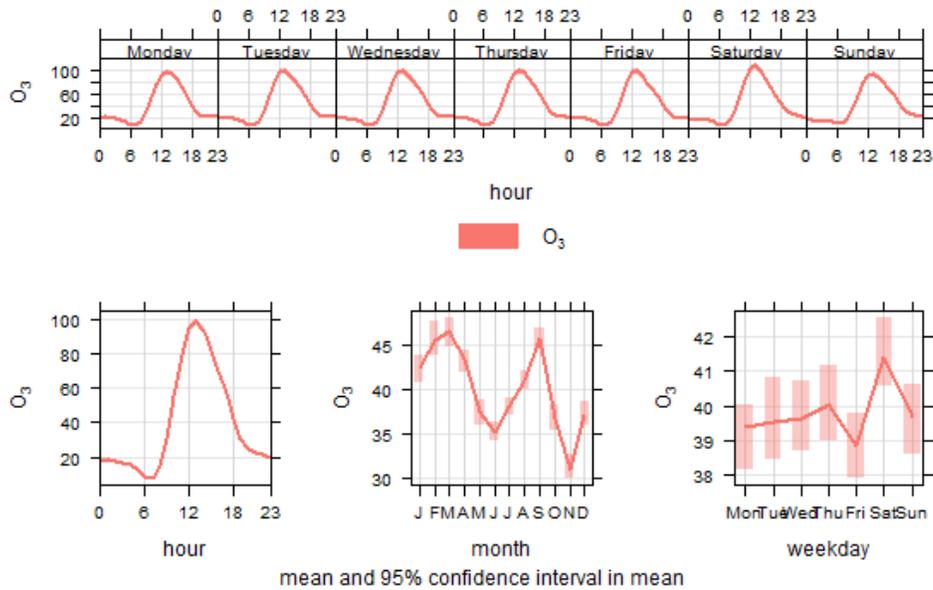


Figura 69. Variación temporal de ozono en la estación de monitoreo Concejo de Itagüí promediada para el período 2013 a 2015

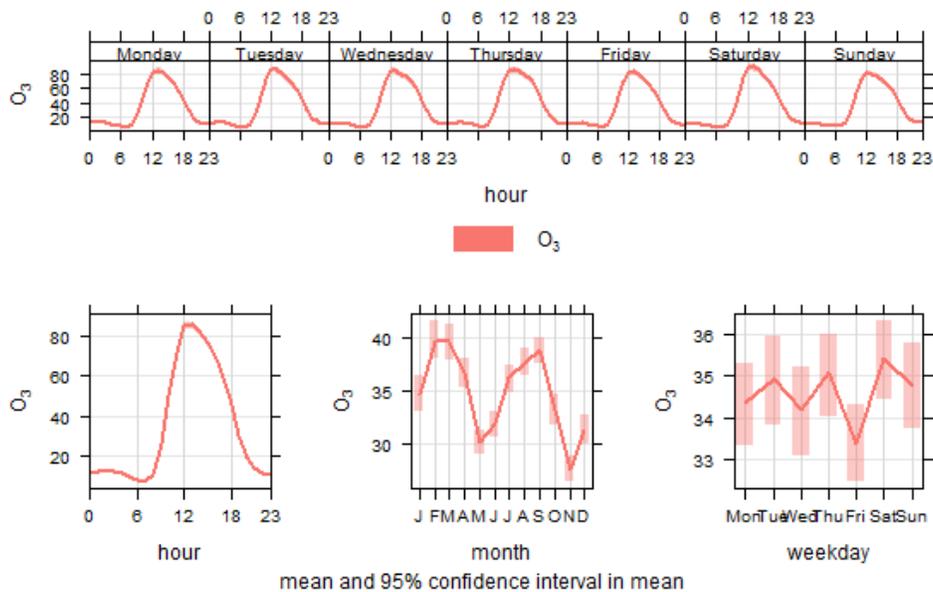


Figura 70. Variación temporal de ozono en la estación de monitoreo Corporación Universitaria Lasallista promediada para el período 2013 a 2015

La Figura 69 y la Figura 70 muestran las tendencias temporales de ozono para cada estación. En las dos estaciones el pico diario de concentración de ozono ocurre durante el mediodía, siguiendo un

comportamiento horario típico de este contaminante. Este pico coincide con el pico de radiación solar, el cual conduce a las reacciones químicas que forman el ozono de los contaminantes primarios (NOx y VOC) comúnmente en ubicaciones urbanas; los NOx provenientes del pico del tráfico de la mañana. Los patrones de comportamiento mensual, muestran picos de concentraciones de ozono durante febrero/marzo y en el mes de septiembre, y las concentraciones más bajas durante mayo/junio y noviembre/diciembre, señalando así un ciclo de alta y baja formación de ozono. En la Figura 71 se muestran los datos de las dos estaciones como una concentración promedio por hora del día, por mes del año. Se puede observar claramente los picos de ozono de mediodía, al igual que las concentraciones más altas que ocurren predominantemente durante febrero y marzo, y el pico de septiembre.

Con respecto al comportamiento durante los días de la semana se observa que las concentraciones máximas registradas entre lunes y viernes son similares, mientras que el día domingo disminuyen significativamente por la importante reducción de las emisiones vehiculares y de la industria. Sin embargo, las concentraciones de ozono observadas el sábado son mayores, incluso que las observadas para los días laborales, esto a pesar de que las concentraciones de NOx y CO (este último considerado como un indicador de emisiones de VOC provenientes de las fuentes móviles) son menores a las registradas entre lunes y viernes. Un comportamiento similar se observa en el resto de los sitios que reportan ozono, e incluso se extiende hasta el domingo. Este fenómeno se conoce como efecto de “fin de semana” y se presenta cuando existe una reducción mayor de óxidos de nitrógeno con respecto a la concentración de VOC, en un régimen en donde la producción de ozono es sensible a VOC. Un tema importante de investigación científica para este plan es el estudio del régimen de producción de ozono troposférico en el Valle de Aburrá y el posible efecto de “fin de semana”, porque la información disponible podría sugerir que una reducción en la emisión de NOx podría incrementar sensiblemente la concentración de ozono.

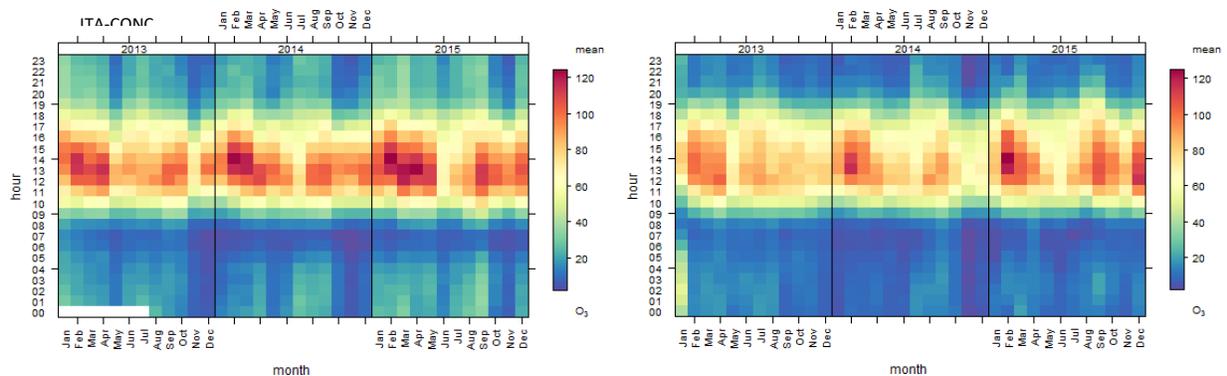


Figura 71. Concentraciones de ozono por hora del día, y mes del año en las estaciones Concejo de Itagüí y Corporación Universitaria Lasallista

La Figura 72 y la Figura 73 muestran diagramas polares bivariantes. Este método permite identificar las concentraciones promedio de los contaminantes en función de la velocidad y dirección del viento. Estos

factores se calculan dividiendo la velocidad del viento, dirección del viento y concentraciones en diferentes clases según velocidad-dirección. Los gráficos que así se obtienen son útiles porque permiten estimar las fuentes de emisión y su proximidad a la estación de monitoreo. Con esta metodología no es posible determinar las distancias exactas. No obstante, si en el diagrama se observa una alta concentración cerca del centro y la velocidad del viento es de 0 a 2 mph, se infiere que la fuente es muy cercana a la estación de monitoreo. Si las concentraciones altas se registran durante los períodos con mayor velocidad del viento, se infiere que la fuente de las emisiones está a una mayor distancia mayor del sitio. La Figura 72 muestra que algunas de las mayores concentraciones de ozono reportadas en la estación Concejo de Itagüí ocurren cuando los vientos provienen del Oriente. Esto sugiere la influencia potencial de los precursores de ozono de los barrios de Itagüí y Envigado hacia el este o más lejos. Adicionalmente existen fuentes de contaminantes precursores provenientes del Occidente.

La Figura 73 muestra que algunas de las mayores concentraciones de ozono reportadas en la estación Corporación Universitaria Lasallista ocurrieron en 2015, cuando el viento provenía del sur y del suroccidente, donde se espera una menor presencia de fuentes de emisiones de precursores de ozono, debido a la ausencia de fuentes antropogénicas. Esto sugiere que hay una contribución significativa de VOC y NOx que no ha sido considerada o cuantificada antes. Posible explicaciones podrían ser: 1) que el ozono se produzca a partir de VOC emitidos por vegetación en presencia de NOx emitidos por automóviles con características geográficas que favorecen un bajo grado de mezcla y procesos de reacción más eficientes; y 2) que durante la mañana, cuando la dirección predominante del viento es de norte a sur, ocurra un transporte continuo de precursores de la zona urbana, mientras que en la parte de la tarde de estos precursores vuelvan a la ciudad debido al viento del sur con un grado de envejecimiento y también sean enriquecidos por las emisiones potenciales de la vegetación, y que por lo tanto den como resultado una concentración significativa de ozono. Sin embargo, el fenómeno requiere más investigación.

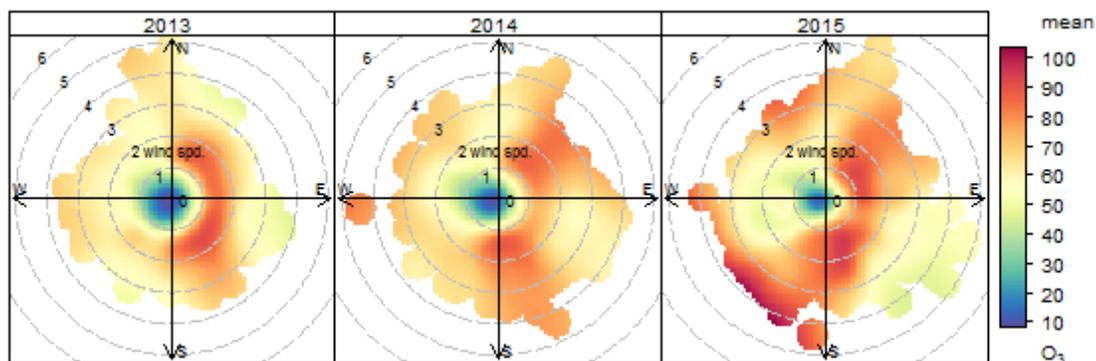


Figura 72. Gráficos polar anuales por hora para ozono – Concejo de Itagüí, 2013 - 2015

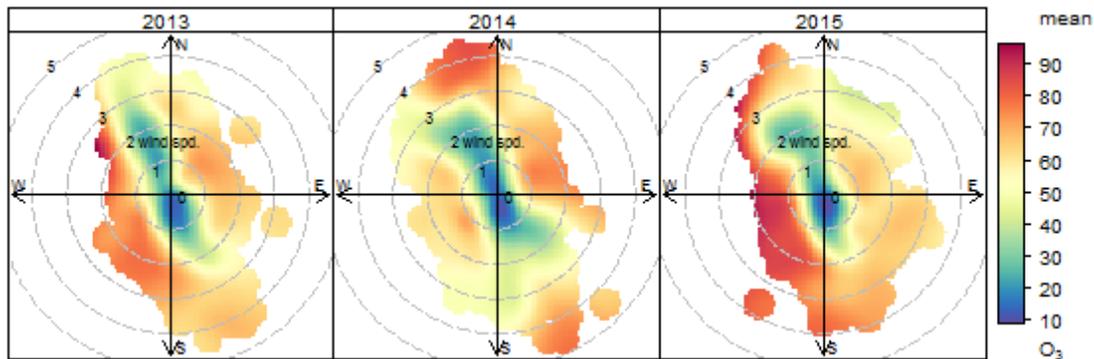


Figura 73. Gráficos polar anuales por hora para ozono – Corporación Universitaria Lasallista, 2013 - 2015

Partículas PM₁₀

La Figura 74 presenta la concentración anual de PM₁₀ en todas las estaciones desde 2008. La gráfica de la izquierda muestra el promedio de concentración anual, independiente de la cantidad de datos disponibles para cada año calendario. Sin embargo, la captura de datos para casi la mitad de los periodos anuales, fue inferior a la tasa de captura de datos requeridos del 75%. El mismo gráfico, pero sólo para esos años/estaciones con al menos un 75% de los datos, se presentan en el gráfico de la derecha. Con la captura de datos en años anteriores siendo inferior a lo requerido, es difícil determinar con confianza la tendencia en las concentraciones, ya que las estaciones comenzaron en 2008. Sin embargo, con estos datos está claro que la tendencia general en casi todas las estaciones ha sido un incremento de la concentración de PM₁₀ en los últimos 3 a 4 años.

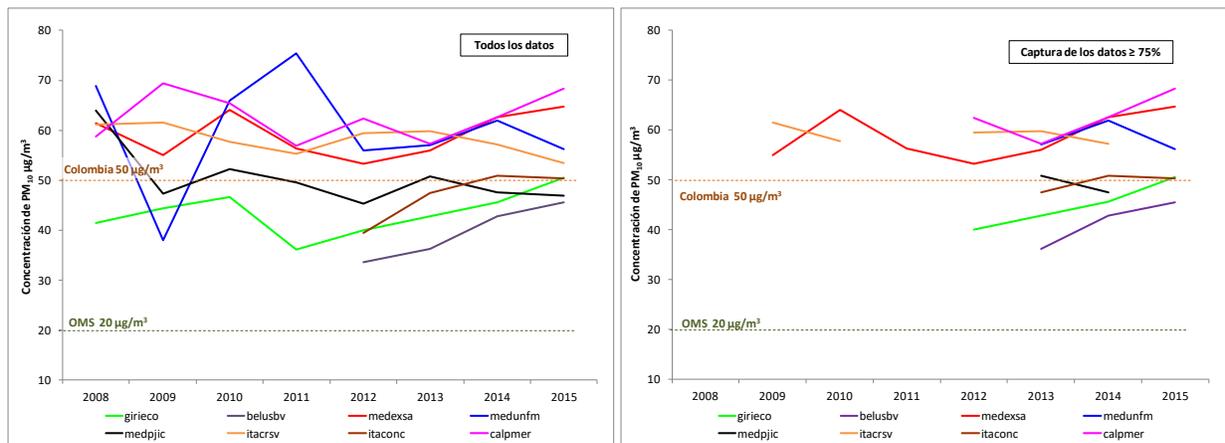


Figura 74. Promedio Anual de Concentración de PM₁₀ por estación 2008-2015

Las dos estaciones que muestran tanto un aumento constante durante los tres últimos años como las concentraciones más altas durante 2015, son Plaza de Mercado Coperplaza, clasificada como estación urbana de tráfico y Éxito San Antonio clasificada como estación urbana a mesoescala.

La Figura 75 y la Figura 76 muestran las tendencias temporales en ambas estaciones. Las dos estaciones muestran correlación clásica con flujos de tráfico pico, con concentraciones pico durante mañana y noche y con más bajas concentraciones ocurriendo los domingos. Curiosamente las concentraciones en la estación Plaza de Mercado Coperplaza muestran un doble pico de concentración en la mañana. Para investigar más allá, se utilizaron la velocidad y dirección del viento de la estación Corporación Universitaria Lasallista, para poder ver la dirección desde donde las concentraciones de contaminantes fueron originadas por las horas del día, lo cual es presentado en la Figura 77.

Lo anterior sugiere que las concentraciones pico a las 7:00 a. m. son emisiones generales de tráfico pico, dado que las altas concentraciones son registradas de todas las direcciones. Sin embargo, el pico ocurrido a las 10:00 a. m. es derivado predominantemente de las emisiones de norte y sur. Las fuentes de estas concentraciones se deben investigar más a fondo para establecer su origen. Ambas estaciones muestran fluctuación estacional, con las mayores concentraciones mensuales ocurriendo en marzo en las dos estaciones.

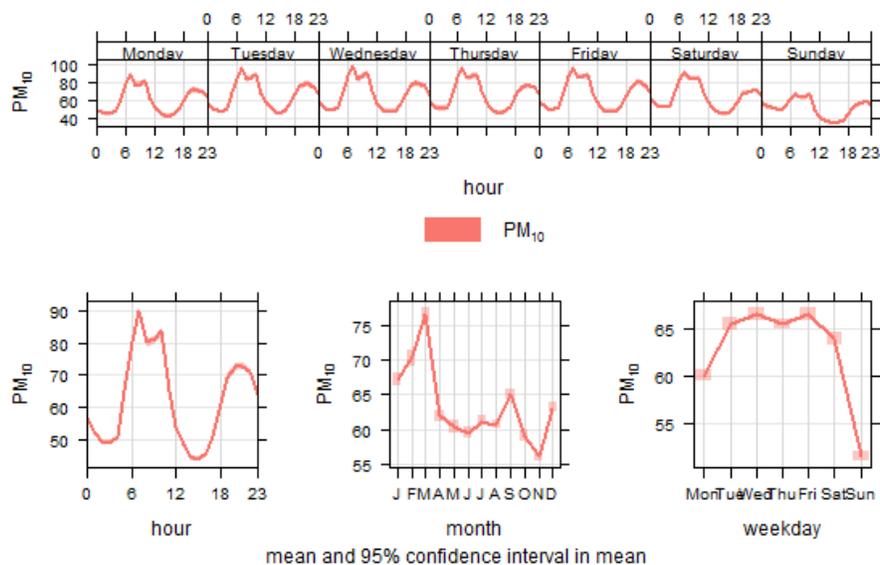


Figura 75. Variación temporal de PM_{10} en la estación de monitoreo Plaza de Mercado Coperplaza promediada para el período 2013 a 2015

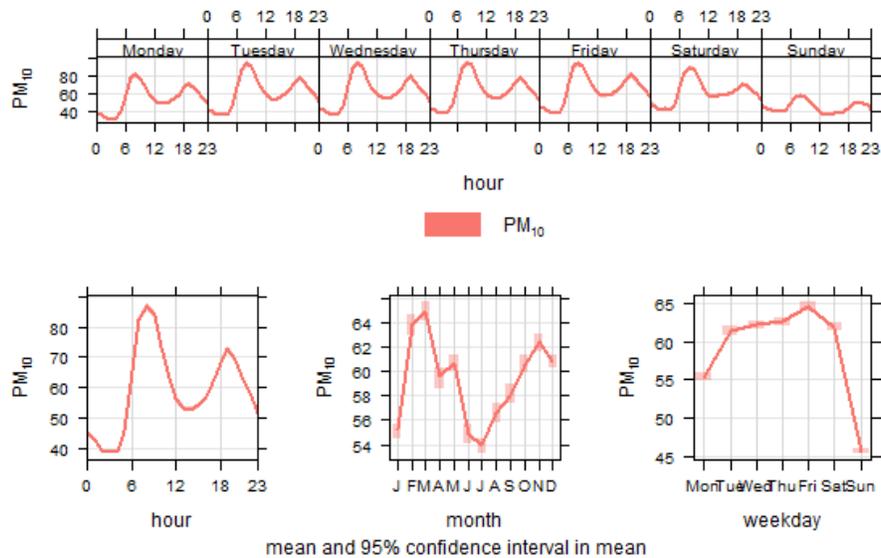


Figura 76. Variación temporal de PM_{10} en la estación de monitoreo Éxito San Antonio promediada para el período 2013 a 2015

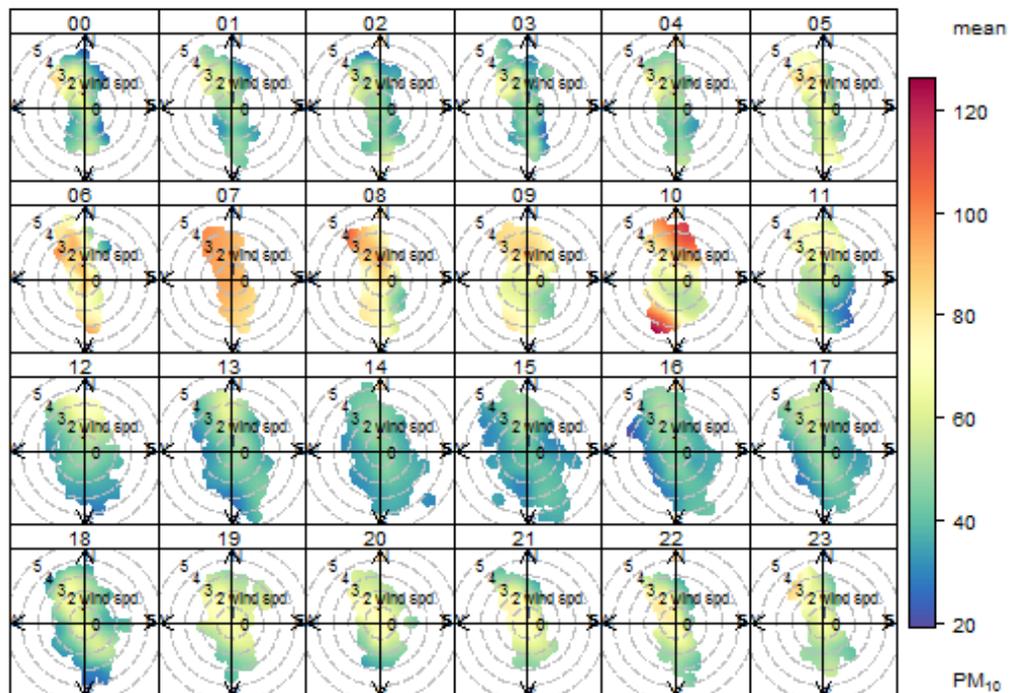


Figura 77. Gráficos polar anuales por hora para PM_{10} – Plaza de Mercado Coperplaza, 2013 - 2015

Partículas PM_{2.5}

La Figura 78 presenta la concentración anual de PM_{2.5} en todas las estaciones desde 2013. La tasa de captura de datos para 2012, año en que se establecieron las estaciones de monitoreo, son inferiores al 75%. Las concentraciones de PM_{2.5} se han mantenido en general relativamente estables. Leves disminuciones en la concentración se han presentado en las estaciones Casa de Justicia Itagüí y Concejo de Itagüí, mientras que aumentos en la concentración se han presentado tanto en Estación Metro La Estrella como en Corporación Universitaria Lasallista. Las concentraciones en la estación Metro La Estrella son investigadas con mayor detalle.

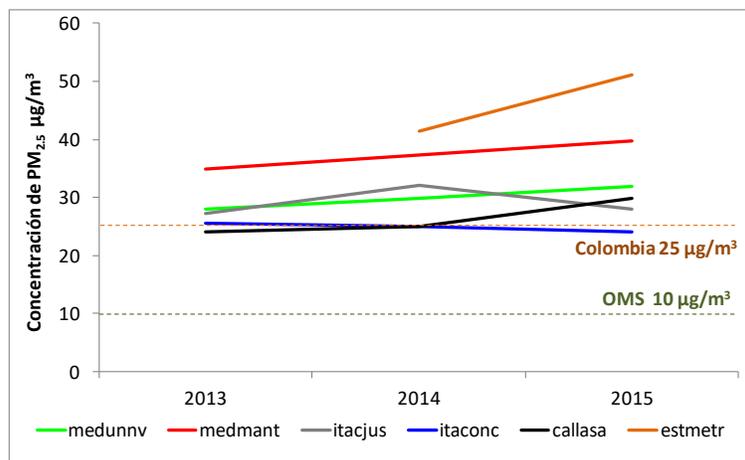


Figura 78. Promedio Anual de Concentración de PM_{2.5} por estación 2013-2015

La Figura 79 muestra las tendencias temporales en la estación Metro La Estrella. Como con el PM₁₀, existen algunas claras correlaciones con el tráfico pico de la mañana y las concentraciones durante el día, pero a diferencia del PM₁₀, los picos son menos evidentes durante la tarde. También hay un pico estacional durante marzo como con PM₁₀. El área tiene una alta concentración de la industria y las emisiones son predominantemente evidentes desde la dirección occidental (ver Figura 80). El sitio está bajo la fuerte influencia de las emisiones de la carretera que se encuentra al sur y un estacionamiento descubierto al oeste que emite polvo 'resuspendido'. Además, existen fuentes industriales hacia el oeste, aunque es difícil diferenciar las contribuciones de la fuente cercana sin una mayor caracterización de partículas y estudios más profundos de desglose de fuentes.

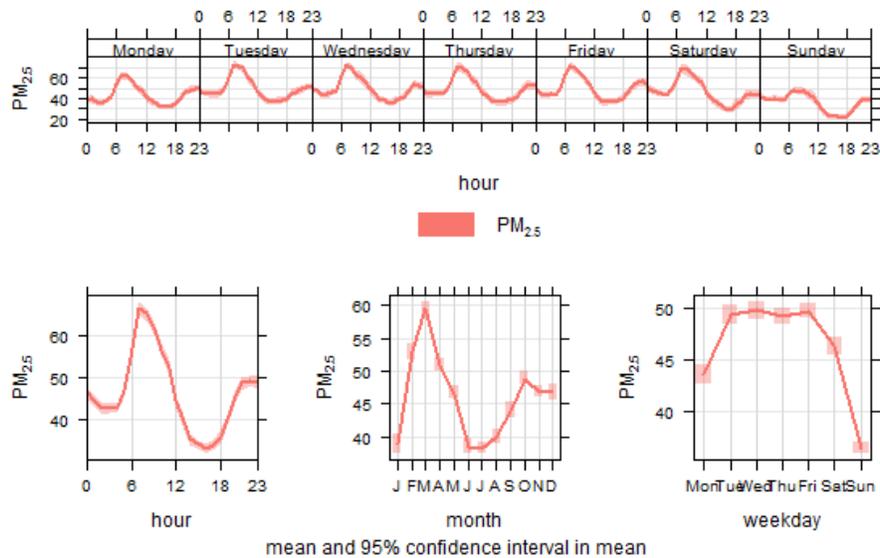


Figura 79. Variación temporal de $PM_{2.5}$ en la estación de monitoreo Metro la Estrella promediada para el periodo 2014 a 2015

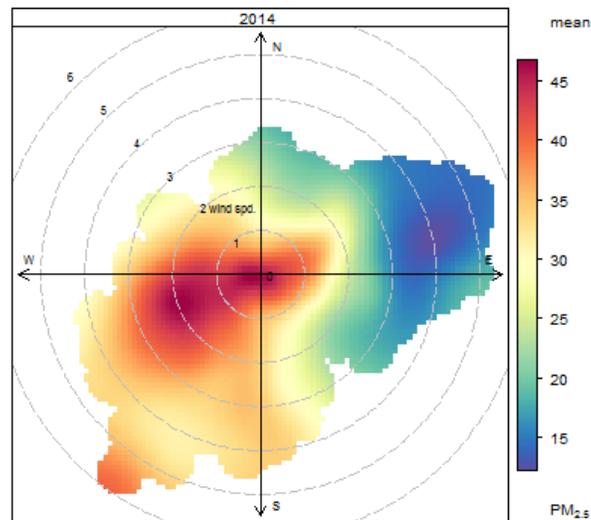


Figura 80. Gráfico polar anual para $PM_{2.5}$ – Estación Metro La Estrella, 2014

La Figura 81 presenta promedios mensuales derivados de todas las estaciones de monitoreo para cada hora de cada año, donde hay presencia de datos en más de dos estaciones de monitoreo. Las concentraciones de $PM_{2.5}$ muestran claramente un patrón estacional, ocurriendo las mayores concentraciones durante los meses de lluvias. La Figura 82 muestra un periodo de elevadas

concentraciones en febrero y marzo de cada año. En contraste, las concentraciones mensuales de PM_{10} no muestran dicha estacionalidad.

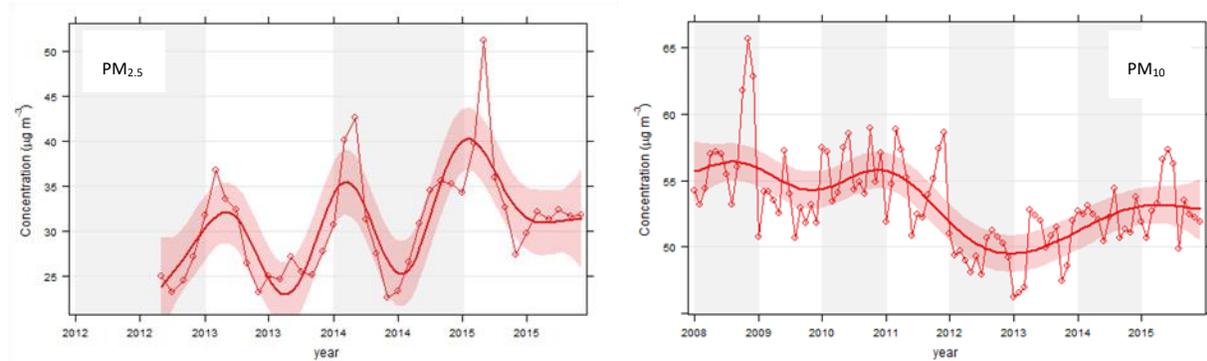


Figura 81. Tendencia promedio mensual de todas las estaciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$

La Figura 82 muestra gráficos mensuales de $PM_{2.5}$ para 2015 en el sitio Universidad Nacional de Colombia. Esto demuestra las altas concentraciones observadas en los primeros meses del año. Los datos también se dividen en dos gráficos: una para febrero y marzo, y otra para abril a diciembre. Esto demuestra que durante el período del episodio hay contribuciones desde la dirección norte que no se ven durante el resto del año. Un fenómeno similar se observa en otros sitios y para otros años, con una contribución distinta durante el período de febrero y marzo que no se observa durante el resto del año. La Figura 83 muestra la correlación entre $PM_{2.5}$ y NO_x , que es un contaminante primario emitido por fuentes de combustión. Hay una fuerte correlación entre los dos contaminantes durante los meses de abril a diciembre, lo cual indica que las $PM_{2.5}$ están altamente asociadas con fuentes de combustión. No obstante, durante febrero y marzo la correlación entre $PM_{2.5}$ y NO_x es mucho más débil y pueden ocurrir altas concentraciones de $PM_{2.5}$ aún con bajas concentraciones de NO_x . Ello podría sugerir que durante febrero y marzo las altas concentraciones de $PM_{2.5}$ podrían estar relacionadas con una fuente distinta a la combustión en las cercanías de la estación.

Típicamente la atmósfera experimenta transiciones de su estado estable a inestable dentro del ciclo diurno, transiciones que son determinadas por la cantidad de energía aportada por la radiación a la superficie, necesaria para activar los flujos turbulentos y el ascenso de las parcelas de aire a las capas superiores de la tropósfera. Cuando la cantidad de energía no es suficiente, la dinámica de las capas de la atmósfera cercanas a la superficie, es significativamente más lenta, lo cual no posibilita un rompimiento de la estabilidad atmosférica, como consecuencia los procesos convectivos disminuyen drásticamente y los contaminantes reducen su capacidad de dispersión en la vertical. Para el Valle de Aburrá, debido a su compleja configuración topográfica, experimentar condiciones permanentes de estabilidad atmosférica es una situación crítica para el estado de la calidad del aire, debido a que la convección, junto con el lavado por precipitación, son los únicos mecanismos de remoción de contaminantes de la atmósfera en el valle. Las condiciones meteorológicas se establecen como los detonantes de la contingencia ambiental por calidad del aire.

El mes de marzo se reconoce típicamente por ser la transición entre la temporada seca y la primera temporada de lluvias del año. Las temporadas de transición se caracterizan a su vez, por la presencia permanente de capas de nubes de baja altura y con ellas altos porcentajes de humedad en la atmósfera. Estas capas de nubes influyen en el balance radiactivo, y se convierten en un obstáculo que reduce significativamente la radiación en superficie, en consecuencia la energía aportada también disminuye y con esto los movimientos convectivos. Todo lo anterior se conjuga para que la expansión de la Capa Límite Atmosférica no sea la suficiente para superar el tope de las montañas, lo que ocasiona la recirculación y acumulación de los contaminantes dentro del Valle.

La interacción de los factores mencionados previamente, sumados a fenómenos de menor escala como la dinámica de los flujos turbulentos, tiene influencia directa en la evolución de la estructura de la Capa Límite Atmosférica (CLA). Particularmente en el Valle de Aburrá, la CLA se convierte en un indicador de la posibilidad que tienen los contaminantes de ascender hasta superar el tope de las montañas y ser barridos por los vientos Alisios (vientos a mayor escala en dirección oriente - occidente).

Toda esta evidencia apunta a la ocurrencia de episodios de estancamiento severo durante marzo que tienen un impacto en todo el Valle. Esta cuestión es muy importante desde el punto de vista de la gestión de la calidad del aire, porque durante este tipo de episodios el impacto de las medidas de contingencia podría ser limitado.

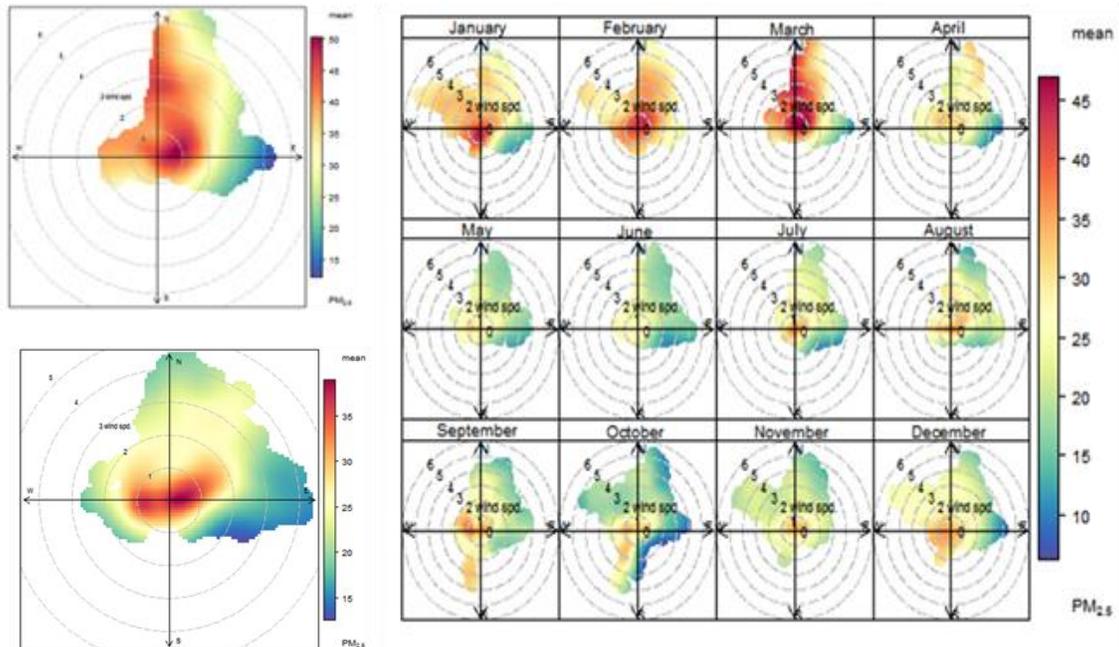
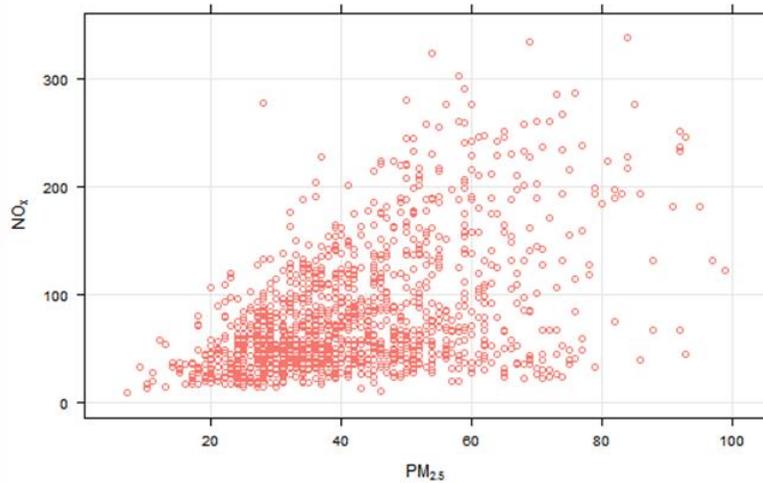
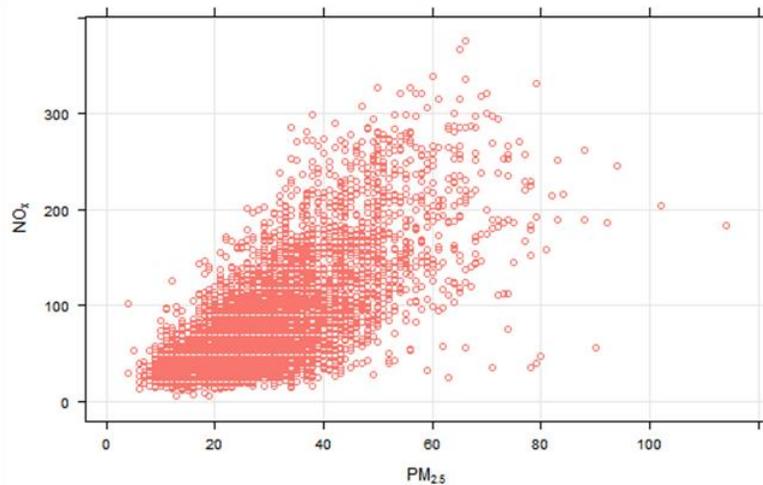


Figura 82. Gráficos polar anuales para $PM_{2.5}$ – Universidad Nacional de Colombia, 2015



Scatterplot PM_{2.5} vs NO_x Feb-Mar 2015 (µg/m³)



Scatterplot PM_{2.5} vs NO_x Apr-Dec 2015 (µg/m³)

Figura 83. Gráficas de dispersión de PM_{2.5} versus NO_x en la estación de monitoreo Universidad Nacional de Colombia, 2015

Dióxido de Azufre SO₂

Las concentraciones de SO₂ de las estaciones SOS Aburrá Norte y Museo de Antioquia, estuvieron por debajo de las concentraciones de la norma colombiana. Sin embargo, ambas excedieron el valor objetivo de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 20µg/m³ para 24 horas. La estación SOS Aburrá Norte solo tiene una tasa de captura de datos del 30% para el 2015 (con recopilación de datos empezando a partir del 4 de septiembre de 2015), mientras que Museo de Antioquia tiene una tasa de captura de datos del 71% para el 2015.

La Figura 84 muestra las variaciones temporales de SO₂ medidas en estas dos estaciones y la Figura 85 muestra una representación gráfica de las concentraciones de SO₂ en la estación SOS Aburrá Norte como una función de la velocidad y dirección del viento (no existen datos de vientos en Museo de Antioquia). Ambas estaciones muestran un claro pico de concentración de la mañana, con las concentraciones más altas presentadas en SOS Aburrá Norte. Este pico se debe a que la altura de mezcla y la velocidad del viento son bajas por la mañana, favoreciendo la acumulación de contaminantes cerca del suelo. Durante la mañana la dirección predominante del viento podría provenir de alguna chimenea ubicada al norte, muy cerca del sitio de monitoreo (<500 m), esto aunado a la baja velocidad del viento durante la mañana favorece la acumulación de contaminantes cerca del suelo.

Mirando más detalladamente a los cuatro meses de datos de la estación SOS Aburrá Norte, estas altas concentraciones ocurrieron en diciembre por dos fuentes claras: una cerca de la estación al noroccidente y la otra a una distancia más al noreste. Ambas ubicaciones parecen corresponder a fuentes fijas industriales. Un período de recolección de datos más largo debe considerarse para determinar tendencias temporales reales en esta estación, sin embargo los procesos industriales parecen ser claras fuentes del SO₂.

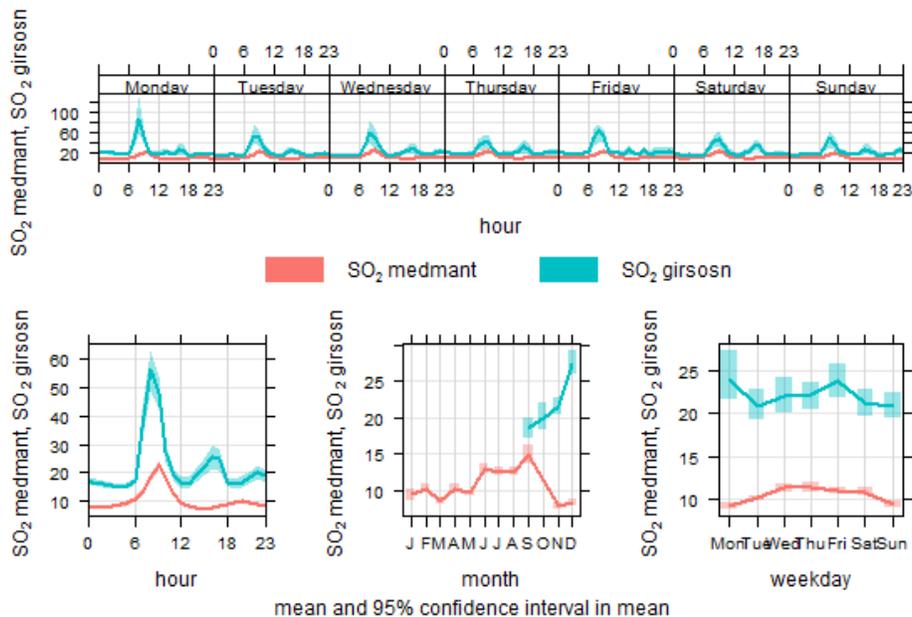


Figura 84. Variación temporal de SO₂ en la estación de monitoreo Museo de Antioquia promediada para el período anual de 2015 y la estación SOS Aburrá Norte promediada para el período de septiembre a diciembre de 2015

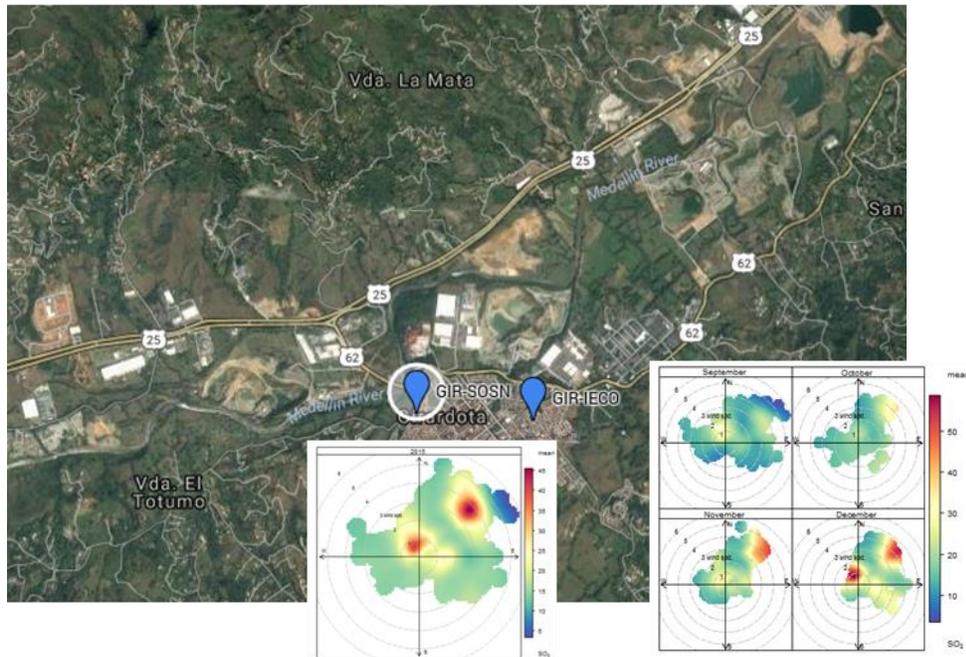


Figura 85. Gráfico polar anual y mensual por hora para SO₂ – SOS Aburrá Norte, septiembre - diciembre 2015

Dióxido de Nitrógeno NO₂

Sólo se registró una superación de la norma colombiana para el NO₂ en 2015, es decir, la norma de 1 h de 200 µg/m³, que fue superada en 1 µg/m³ en la estación Universidad Nacional - Minas. Además, se superó el valor objetivo anual de 40 µg/m³ de la OMS en la estación Politécnico Jaime Isaza con una concentración medida de 49 µg/m³. La Figura 86 muestra las tendencias mensuales de concentración de NO₂ en cada una de las seis estaciones de monitoreo. Esto demuestra que las estaciones Politécnico Jaime Isaza, Universidad Nacional - Minas y Universidad Nacional de Colombia tienen las mayores concentraciones de NO₂ con algunas pequeñas tendencias generales de concentraciones crecientes. Las estaciones Politécnico Jaime Isaza y Universidad Nacional - Minas se clasifican como lugares de tráfico urbano, mientras que la estación Universidad Nacional de Colombia está clasificada como un sitio urbano. Los dos sitios que superan la Norma Colombiana y el valor objetivo de la OMS, las estaciones Politécnico Jaime Isaza y Universidad Nacional - Minas, se analizan con más detalle.

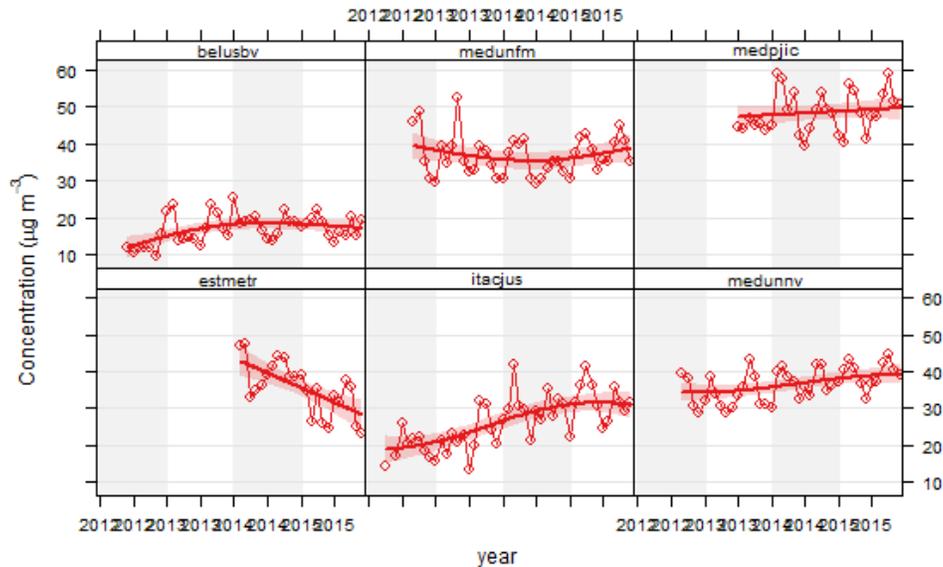


Figura 86. Tendencia en el promedio mensual de concentraciones de NO_2 – año 2012-2015

La Figura 87 muestra los patrones temporales de las concentraciones de NO y NO_2 en la estación Politécnico Jaime Isaza, similares a los patrones que se presentaron en la estación Universidad Nacional - Minas. Estas cifras muestran la fuerte correlación de las emisiones de NO con los flujos máximos de tráfico. La concentración máxima pico de NO_2 sugiere la presencia de un componente secundario fuerte. Las emisiones de NO_2 primarias son particularmente importantes de los vehículos diésel (especialmente cuando se mueven lentamente), mientras que NO_2 también se forma en la atmósfera en una reacción química entre el NO y el O_3 . La presencia de NO_2 secundario es más común cerca de donde se libera NO, por ejemplo, cerca de las carreteras con alto tráfico vehicular.

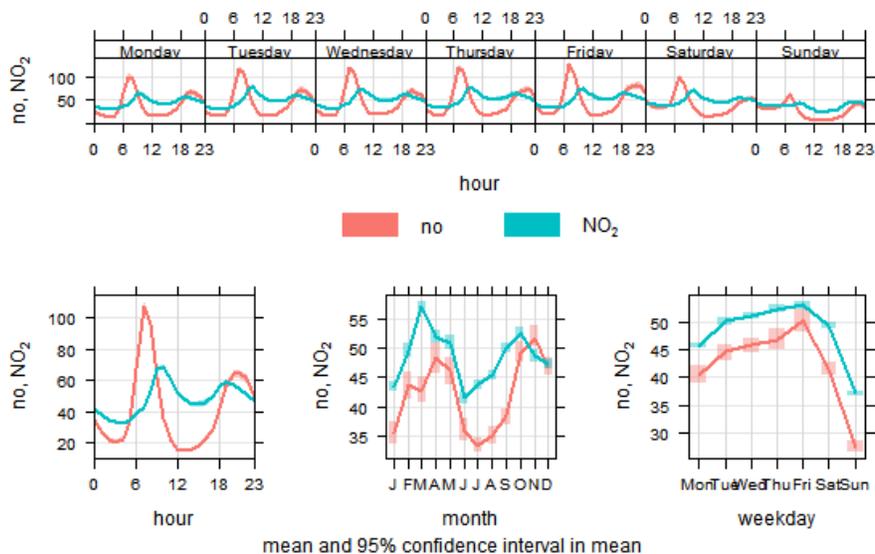


Figura 87. Variación temporal de NO y NO₂ en la estación de monitoreo Politécnico Jaime Isaza promediada para el período 2013 a 2015

Monóxido de carbono CO

Las concentraciones de CO estuvieron todas muy por debajo de la norma colombiana, tanto para promedios de 1 hora como promedios de 8 horas durante el 2015. Las tendencias en las cuatro estaciones han sido muy diferentes durante los años 2013 a 2015. Como se observa en la Figura 88 las concentraciones en la estación Museo de Antioquia muestran reducciones totales en la concentración, mientras que en la estación metro La Estrella se presentan algunos aumentos. Sin embargo, todas las concentraciones se encuentran por debajo de la norma. Estas cuatro estaciones están ubicadas en tráfico urbano y por esto cada una muestra una fuerte influencia de las emisiones por tráfico. De hecho, como se muestra en la Figura 89, existen algunas horas pico de máximo tráfico y reducciones en las concentraciones durante los fines de semana, particularmente los domingos.

En los sitios Politécnico Jaime Isaza y estación metro La Estrella, se observa una influencia particularmente fuerte de la carretera en las tardes con concentraciones que permanecen altas durante un período más largo que el resto de los sitios, las cuales no disminuyen hasta después de las 22:00-23:00 horas. Además, es interesante observar cómo el lunes tiene concentraciones más bajas para los contaminantes primarios, lo que indica que el lunes, hay menos actividad vehicular en la calle en comparación con los otros días de la semana. También se presentan algunos patrones estacionales con picos de concentraciones más bajas generalmente registradas durante el período de junio a agosto.

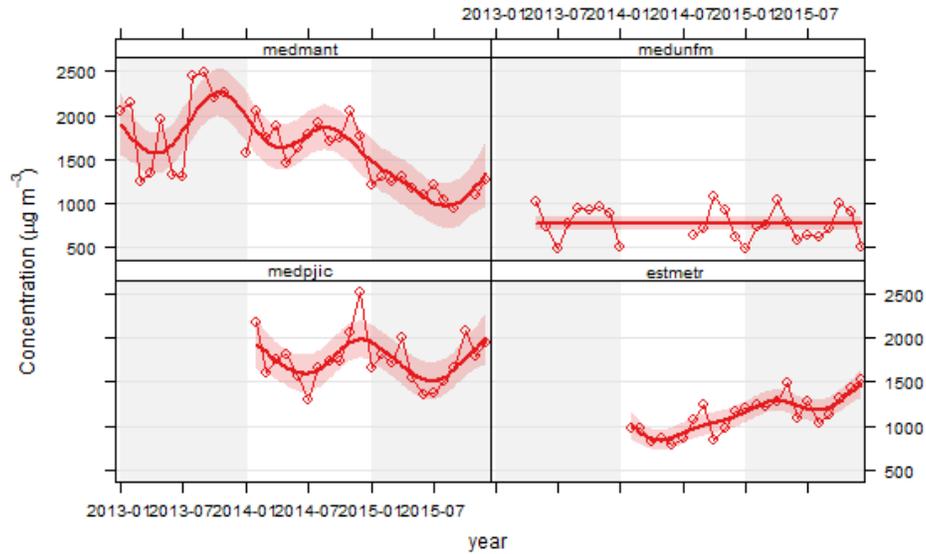


Figura 88. Tendencia en el promedio mensual de concentraciones de CO. Año 2013-2015

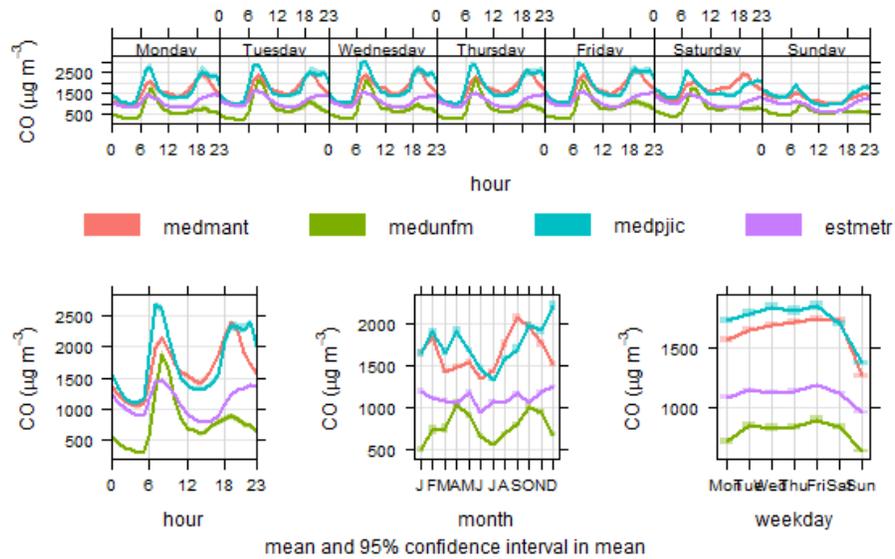


Figura 89. Variación temporal de CO en todas las estaciones de monitoreo promediada para el período 2014 a 2015

Oportunidades de mejora del monitoreo atmosférico

En septiembre de 2016, el Clean Air Institute realizó un análisis de la red de monitoreo atmosférico del Valle de Aburrá, incluyendo una visita técnica a 8 de los 24 sitios de monitoreo que hacen parte de la red. Las recomendaciones estratégicas de dicho análisis hacen parte de medidas del PIGECA relacionadas con procedimientos y protocolos de operación, control de calidad y el aseguramiento de la calidad y fortalecimiento de capacidades de monitoreo atmosférico. Las recomendaciones detalladas se presentan en un informe presentado al Área Metropolitana del Valle de Aburrá por separado.

La principal recomendación del análisis, consiste en la mejora continua de la información generada por la red de monitoreo mediante el establecimiento de objetivos de calidad de los datos. Como parte de su estrategia, es importante asegurar que el número y ubicación de las estaciones se defina en el contexto del objetivo, metas y líneas estratégicas del PIGECA. Para ello es importante establecer una correspondencia entre la ubicación de las estaciones de monitoreo y los objetivos a evaluar en cada una de ellas para cumplir con los propósitos del sistema de vigilancia de la calidad del aire. Si bien es importante que la red cumpla con todos los objetivos, el más importante de ellos es generar información confiable para evaluar el riesgo a la salud humana, para lo cual se requiere de estaciones cuya localización permitan generar información adecuada sobre las concentraciones típicas en zonas densamente pobladas y para determinar el cumplimiento de las normas de calidad del aire.

Definición de episodios críticos

Las siguientes normas nacionales le han permitido a la Entidad desarrollar los instrumentos para enfrentar episodios críticos y para definir los niveles de activación de las contingencias.

NORMA NACIONAL	INSTRUMENTOS DESARROLLADOS
Resolución 601/2008 y 610/2010 y Decreto 979/2006	Fundamento base para la declaratoria de la contingencia atmosférica.
Resolución 760 de 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial)	Adopta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.
Resolución 2153 de 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial)	Se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010.
Resolución 650 de 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial)	Se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.
Acuerdo Metropolitano 008 de 2011	Se aprueba y se adopta el Plan de Descontaminación del Aire del Valle de Aburrá.

NORMA NACIONAL	INSTRUMENTOS DESARROLLADOS
Resolución Metropolitana 379 de 2016	Se declara el nivel de contingencia atmosférica en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Establece la adopción de medidas de seguimiento, información y reducción de la emisión de contaminantes al aire en el Valle de Aburrá.
Resolución Metropolitana 2381 de 2015. Modificada parcialmente por la Resolución 912 de 2017 y 1379 de 2017	Se adoptan medidas que contribuyan al desarrollo de una gestión integral de la calidad del aire en la Jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

A partir del Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se expidió el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Este último establece que las autoridades ambientales competentes deberán clasificar como áreas-fuente 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.

La clasificación de las “áreas-fuente” de contaminación, según el Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015, es la siguiente:

1. Área de clasificación I: Área de contaminación alta:

Aquella en la que 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 setenta y cinco por ciento (75%) de los casos de la norma de calidad anual. En estas áreas deberán tomarse medidas de contingencia.

2. Clase I/-Áreas de contaminación media:

Aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, exceden con una frecuencia superior al cincuenta por ciento (50%) e inferior al setenta y cinco por ciento (75%) de los casos la norma de calidad anual. En estas áreas deberán tomarse medidas de contingencia. Se restringirá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptarán programas de reducción de la contaminación que podrán, extenderse hasta por cinco años.

3. Clase /I/-Áreas de contaminación moderada:

Aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, exceden con una frecuencia superior al veinticinco por ciento (25%) e inferior al cincuenta por ciento (50%) de los casos la norma de calidad anual. En estas áreas se tomarán medidas

dirigidas a controlar los niveles de contaminación y adoptar programas de reducción de la contaminación, que podrán extenderse hasta por tres años.

4. Clase IV-Áreas de contaminación marginal:

Aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, exceden con una frecuencia superior al diez por ciento e inferior al veinticinco por ciento (25%) de los casos la norma de calidad anual. En estas áreas se tomarán medidas dirigidas a controlar los niveles de contaminación que permitan la disminución de la concentración de contaminantes o que por lo menos las mantengan estables.

Niveles de activación de contingencias

La Resolución 610 de 2010, establece en su “Artículo 10. Declaración de los Niveles de Prevención, Alerta y Emergencia por Contaminación del Aire. La concentración a condiciones de referencia y el tiempo de exposición bajo los cuales se debe declarar por parte de las autoridades ambientales competentes los estados excepcionales de Prevención, Alerta y Emergencia”, se establecen en la Tabla 11.

Tabla 11. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia

Contaminante	Tiempo de exposición	Estados excepcionales		
		Prevención ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Alerta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Emergencia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PST
PST	24 horas	375	625	875
PM ₁₀	24 horas	300	400	500
SO ₂	24 horas	500	1,000	1,600
NO ₂	1 hora	400	800	2.000
O ₃	1 hora	350	700	1,000
CO	8 horas	17,000	34,000	46,000

“Parágrafo: Cuando en un mismo sitio de monitoreo y en los mismos horarios se estén realizando mediciones de PST y de PM₁₀, prevalecerán las concentraciones de PM₁₀ para declarar los niveles de Prevención, Alerta y Emergencia.”

En el 2015, mediante la Resolución Metropolitana 2381, se establecen los “Niveles de contingencia atmosférica para el Valle de Aburrá (Artículo 22), donde se incluye el PM_{2.5}: En la Tabla 12 se establecen los niveles que originan situaciones de contingencia atmosférica por PM₁₀, PM_{2.5} y Ozono (O₃) y que de acuerdo con el Índice de Calidad del Aire (ICA) son concentraciones que representan un daño a la salud, por lo que deben entenderse como una amenaza a la población.”

Tabla 12. Niveles de contingencia atmosférica para el Valle de Aburrá

Contaminante	Tiempo de exposición	Niveles de contingencia basados en el ICA		
		Alerta naranja	Alerta roja	Emergencia
PM ₁₀	24 horas	101 – 150	151 – 200	≥201
PM _{2,5}	24 horas	101 – 150	151 – 200	≥201
O ₃	1 hora	101 – 150	151 – 200	≥201

Los valores de referencia de la Tabla 12 establecidos para fijar los niveles de contingencia, fueron definidos con base a las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos 2012. Estos niveles son más restrictivos que la norma nacional actual (Resolución 610 de 2010), y que en otras ciudades como Santiago de Chile y Bogotá en consideración a las condiciones meteorológicas y topográficas del Valle de Aburrá” (Ver Figura 90).

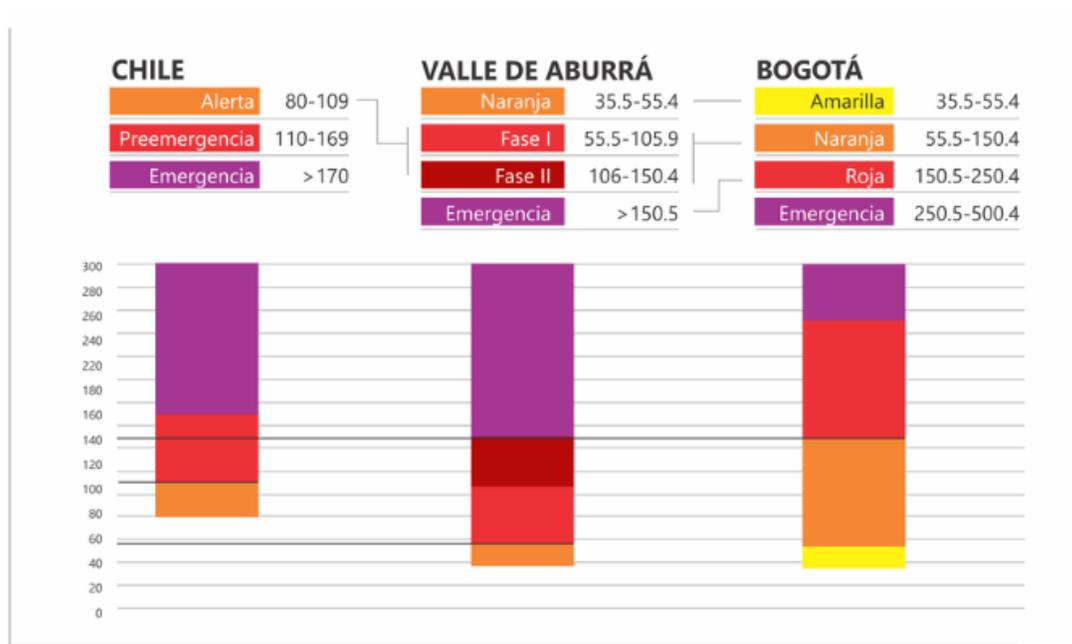


Figura 90. Comparación de los niveles de activación de contingencia atmosférica por PM_{2,5} con otras regiones

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2016.

Los análisis presentados en este capítulo, ofrecen una evaluación sobre el problema de la calidad del aire en el Valle de Aburrá, identificando entre otros aspectos, que las partículas respirables constituyen el principal problema de calidad del aire de la región, dado que sus concentraciones se encuentran fuera de los estándares de calidad del aire establecidos para la protección de la salud. En el capítulo siguiente, se presenta un análisis de los impactos en salud asociados con dicho estado de la calidad del aire, además de las implicaciones de dichos impactos sobre la economía del Valle de Aburrá.

4 IMPACTOS A LA SALUD Y EXTERNALIDADES

En este capítulo se presenta una evaluación de los impactos en la salud pública atribuibles a la contaminación del aire en el Valle de Aburrá. Esta evaluación tiene el propósito de brindar evidencia acerca de la magnitud y costos económicos de dichos efectos, como base para la estimación de beneficios en salud relacionados con la implementación del PIGECA. La base para la realización de esta evaluación ha sido el análisis del estado de la calidad del aire en el Valle de Aburrá presentado en el capítulo 3.

En primer lugar se expone un panorama general de la situación actual de los efectos en la salud de la contaminación del aire a nivel mundial, así como una descripción de los síntomas y padecimientos respiratorios y cardiovasculares vinculados con la exposición a los contaminantes atmosféricos. En segundo lugar, se describe la evaluación de la carga de mortalidad atribuible a la contaminación del aire en el Valle de Aburrá elaborada, abarcando aspectos metodológicos y datos e información utilizada, así como los resultados obtenidos en relación con los efectos en salud y la valuación económica de tales efectos.

Los resultados de la evaluación son utilizados posteriormente como insumo de la evaluación de beneficios del PIGECA descrita en el Capítulo 7, haciendo parte del análisis de escenarios de los efectos en la salud que resultarían, por una parte, en caso de continuar las tendencias actuales de emisiones y calidad del aire y, por otra parte, la diferencia que haría la implementación efectiva del PIGECA.

Panorama general

La Organización Mundial de la Salud subraya que la contaminación atmosférica constituye el mayor riesgo ambiental a la salud pública en nuestros días (WHO, 2014). La exposición a los contaminantes del aire está vinculada a diversos síntomas y enfermedades que afectan adversamente la salud, el bienestar y la productividad. En ciertos casos, dichos síntomas y enfermedades pueden conllevar a una muerte prematura. Los daños a la salud ocasionados por este fenómeno pueden ser particularmente severos en el caso de grupos vulnerables tales como adultos mayores, niños e individuos en condiciones de salud precarias. Los costos en atención médica, gastos hospitalarios y ausentismo laboral y escolar, así como los relacionados con muertes prematuras, entre otros, tienen un alto impacto económico y representan un serio obstáculo al bienestar social y el desarrollo económico de las sociedades contemporáneas. Este riesgo puede evitarse mediante la mejora sistemática de la calidad del aire. Más allá, los daños a la salud por la contaminación atmosférica constituyen una cuestión moral, centro de las decisiones y esfuerzos colectivos para lograr sociedades que disfruten de aire saludable y economías productivas, mediante el abatimiento de las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Se estima que cerca de 7 millones de muertes prematuras ocurridas en el mundo en 2012, pueden ser atribuidas a la exposición a la contaminación del aire en exteriores e intramuros. Mientras que a la

contaminación del aire en ambientes exteriores se atribuyen alrededor de 3.7 millones de muertes, a la contaminación del aire dentro de viviendas y otros espacios interiores explica unos 4.3 millones de muertes. A menudo, las personas están expuestas a los contaminantes atmosféricos en el aire ambiente como intramuros, lo cual potencia el riesgo sobre la salud (OMS, 2014). Con base en estas evidencias, la OMS y otros organismos internacionales han alertado a los países acerca de la necesidad de hacer frente, con carácter prioritario, los desafíos que entraña el deterioro de la calidad del aire.

La vinculación entre contaminación atmosférica e impactos adversos en la salud se encuentra ampliamente documentada (Griffom, 2007; EPA, 2004; American Thoracic Society, 2003; OMS, 2005; GBD, 2013; OMS, 2014; OMS, 2016). Este vínculo está determinado por diversos factores como el tipo de contaminantes a los cuales está expuesta la población, la dosis y duración de la exposición, y la vulnerabilidad de grupos específicos, entre otros. Entre los principales daños a la salud de la contaminación del aire, se encuentran diversos efectos respiratorios y cardiovasculares, cuyos síntomas y padecimientos están ilustrados en la Figura 91. Algunos de las consecuencias más frecuentes incluyen cáncer de pulmón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, infartos cardiovasculares y respiratorios, exacerbación del asma, incremento en las tasas de incidencia de la infección respiratoria aguda y ocurrencia de mortalidades en los grupos poblacionales más sensibles: adultos mayores, niños menores de 5 años y población con preexistencia de enfermedades respiratorias.

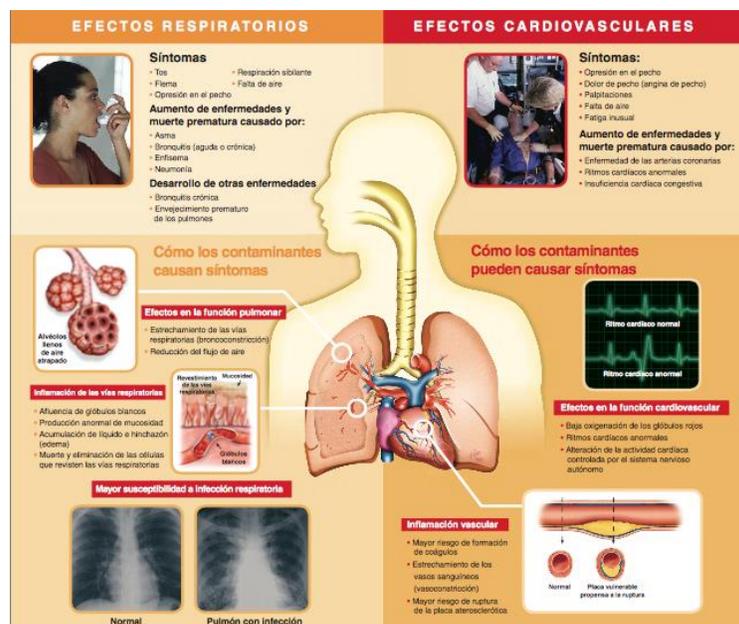


Figura 91. Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y Distrito de Control de la Contaminación del Aire del Condado de Santa Bárbara.

Una evaluación realizada en 2013 por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) de la OMS concluyó que la contaminación del aire exterior es carcinógena para los seres humanos y que la exposición a material particulado está más estrechamente relacionada con el aumento de la incidencia del cáncer⁴⁷. También se ha observado una asociación entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de las vías urinarias⁴⁸. Otros efectos recientemente documentados incluyen evidencias de que la contaminación atmosférica está posiblemente relacionada con un aumento de la incidencia de Alzheimer y demencia en el caso de personas expuestas a altos niveles de contaminación en las cercanías de vías de tránsito congestionado⁴⁹.

Entre las implicaciones económicas de los efectos en la salud señalados se encuentran los gastos de atención médica que las familias deben asumir, así como los relacionados con la utilización de servicios de asistencia hospitalaria (consultas, visitas a salas de emergencia y hospitalizaciones) por causas respiratorias y cardiovasculares, además de ausentismo escolar y pérdida de productividad por incapacidades por enfermedad y días de actividad restringida.

Los impactos económicos descritos representan una severa carga económica para las familias, así como para las economías locales y nacionales (World Bank, 2012 y 2013; Área Metropolitana del Valle de Aburrá - CAI, 2014). A escala global, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE estima que la mortalidad prematura asociada con la contaminación del aire tiene un costo estimado de alrededor de 3.5 billones de dólares (OCDE, 2015).

Con respecto a América Latina, estimaciones conservadoras indican que los efectos en salud de la contaminación del aire tienen un costo que se encuentra entre el 1,5% y el 3% del PIB, dependiendo del país. En sí mismo, ello significa un severo obstáculo para alcanzar los objetivos superiores de bienestar social y desarrollo económico. Más allá, además de los costos relacionados con los efectos a la salud, existen otros impactos sobre el ambiente, la sociedad y la economía que aún no han sido suficientemente valorados, como daños a bosques, agricultura, biodiversidad. Asimismo, el deterioro de materiales en construcciones, monumentos y diversas instalaciones puede acentuar aún más esta problemática.

En la Tabla 13 se presenta un resumen general de las características y efectos a la salud, asociados con el material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.

⁴⁷ <https://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/AirPollutionandCancer161.pdf>

⁴⁸ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK368013/>

⁴⁹ <http://www.nature.com/tp/journal/v7/n1/full/tp2016280a.html>

Tabla 13. Resumen general de características y efectos a la salud de los contaminantes atmosféricos

	Descripción general	Efectos a la salud
Material particulado (PM)	<p>El impacto a la salud del PM es mayor que el de cualquier otro contaminante criterio. Los componentes principales de PM son sulfato, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, carbono negro, polvo mineral y agua.</p> <p>El PM consiste en una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Las partículas más perjudiciales para la salud son las que tienen un diámetro de 10 micras o menos, (PM₁₀) y, más aún, aquellas aún más pequeñas con un diámetro menor a 2.5 micras (PM_{2.5}). Entre más finas son las partículas, mayor es la posibilidad de que penetren y se alojen profundamente en el interior de los pulmones. La exposición crónica a las partículas contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón.</p> <p>La fuente principal de este contaminante son las reacciones de combustión.</p>	<p>Existe una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de partículas pequeñas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y el aumento de la mortalidad o morbilidad, tanto en el día a día como en exposiciones de largo plazo. Por el contrario, cuando las concentraciones de partículas pequeñas y finas se reducen, la mortalidad relacionada también disminuye, suponiendo que otros factores permanezcan iguales. Esto permite proyectar las mejoras de salud de la población que se podrían esperar si se reduce la contaminación del aire por PM.</p> <p>La contaminación por partículas respirables tiene efectos sobre la salud, incluso en concentraciones muy bajas. De hecho, no se ha identificado ningún umbral por debajo del cual no se observe ningún daño a la salud.</p>
Ozono (O₃)	<p>El ozono a nivel del suelo - que no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera superior - es uno de los componentes principales del <i>smog</i> fotoquímico. Se forma en la atmósfera a partir de la reacción fotoquímica de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (VOC), en presencia de radiación solar. Como resultado, los niveles más altos de contaminación por ozono ocurren durante las estaciones de tiempo soleado, alrededor del mediodía.</p> <p>La fuente principal de este contaminante son las reacciones de combustión.</p>	<p>El exceso de ozono en el aire puede tener un efecto severo en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y causar enfermedades pulmonares.</p> <p>En diversos países es actualmente uno de los contaminantes atmosféricos más preocupantes. Varios estudios han informado de que la mortalidad diaria aumenta un 0,3% y que para las enfermedades del corazón un 0,4%, por 10 µg/m³ de aumento de la exposición al ozono.</p>

	Descripción general	Efectos a la salud
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	<p>Como contaminante del aire, el NO₂ tiene varias implicaciones que están correlacionadas. Por una parte, a concentraciones a corto plazo superiores a 200 µg/m³, es un gas tóxico que causa una inflamación significativa de las vías respiratorias. Por otra parte, El NO₂ es la principal fuente de aerosoles de nitratos, que forman una fracción importante de las PM_{2.5}. Asimismo, en presencia de luz ultravioleta, es un precursor de la formación de ozono. La fuente principal de este contaminante son las reacciones de combustión.</p>	<p>Estudios epidemiológicos han demostrado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en asociación con la exposición a largo plazo a NO₂. La reducción del crecimiento de la función pulmonar también está relacionada con el NO₂ en concentraciones actualmente medidas (u observadas) en ciudades de Europa y Norteamérica.</p>
Dióxido de azufre (SO₂)	<p>El SO₂ es un gas incoloro con un olor penetrante. Se produce a partir de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo) y la fundición de minerales que contienen azufre, entre otros. Cuando el SO₂ se combina con el agua, forma ácido sulfúrico; este es el componente principal de la lluvia ácida, la cual es una causa de la pérdida de vegetación (EPA, 2017)</p>	<p>El SO₂ puede afectar el sistema respiratorio y la función pulmonar. Puede provocar también irritación de los ojos. La inflamación de las vías respiratorias provoca tos, secreción de moco, agravación del asma y bronquitis crónica y hace a las personas más propensas a infecciones de las vías respiratorias. Evidencias internacionales indican que los ingresos hospitalarios por enfermedad cardíaca y aumento de la mortalidad se incrementan en los días con mayores niveles de SO₂.</p>

Fuente: Organización Mundial de la Salud.

Carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire

De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación, la carga de la enfermedad es “un conjunto de estimaciones de morbilidad y mortalidad en las poblaciones que permite cuantificar de forma comparativa la pérdida del estado salud debido a distintas patologías, lesiones y factores de riesgo, según variables de persona, tiempo y lugar.”⁵⁰

La valoración de la carga de enfermedad, es un elemento común en los planes de gestión de la calidad del aire, ya que se constituye como una herramienta para el análisis de costos y beneficios de la

⁵⁰ <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/ons/Paginas/Carga%20de%20enfermedad.aspx>



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



implementación de estos planes, a la vez que permite dimensionar la magnitud del impacto de la contaminación del aire sobre la salud de la población.

En el país se han desarrollado diferentes ejercicios de valoración de la carga ambiental de enfermedad. El CONPES 3550 con los lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental establece que en el país, el 17% de la carga de enfermedad es atribuible a factores ambientales. Esta afirmación se sustenta en el estudio de carga ambiental de enfermedad desarrollado por Larsen y conducido por el Banco Mundial (World Bank, 2004), en el cual se estimó que 6.040 mortalidades en el año 2002 fueron atribuibles a la mala calidad del aire. Este estudio determinó que la contaminación del aire urbano es el principal riesgo ambiental para la salud en el país, superando el número de muertes atribuibles a la contaminación del agua y deficiencias en saneamiento básico (1.500 muertes) y la contaminación del aire intramural (1.000 muertes) (CONPES 3550, 2008). Los costos de la contaminación del aire fueron estimados en un 0-8% del PIB Nacional (ibid.).

En el año 2014, el Banco Mundial realizó la actualización del estudio de Larsen, encontrando que pese a los esfuerzos nacionales por mejorar las condiciones ambientales, la carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire se incrementó en el periodo 2002 – 2010. De acuerdo con las estimaciones del Banco Mundial en el año 2010, 7.147 casos de mortalidad fueron atribuibles a la contaminación del aire (World Bank, 2014), representando costos equivalentes al 1.1% del PIB Nacional (ibid.). El estudio muestra que la problemática tiene una mayor acentuación en los grandes centros urbanos del país. El 80% de los casos de mortalidad atribuibles a la contaminación del aire ocurren en los mayores centros urbanos del país (Bogotá, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Cali y Bucaramanga) (World Bank, 2014).

En el año 2017, el DNP publicó una actualización de los costos de la degradación ambiental en el país, encontrando que la contaminación del aire al año 2015 ocasionó 10.527 muertes que representan el 1.93% del PIB Nacional (DNP, 2017). Desde una perspectiva regional, el estudio encontró que 7.125 casos de mortalidad por contaminación del aire ocurren en Bogotá, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Cali y Bucaramanga-Floridablanca. De estas áreas urbanas, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá cuenta con 2.105 casos. Estas mortalidades representan el 12,3% del total de las muertes en el Área y sus costos (2.8 billones de pesos) equivalen al 5% del PIB del Área (DNP, 2017).

El impacto en salud de la contaminación del aire en el Área Metropolitana también ha sido estimado previamente por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. De acuerdo con estimaciones realizadas por la Entidad y el Clean Air Institute, para el año 2012 la carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire alcanzó 1.150 casos de mortalidad, equivalentes al 2% del PIB del Área Metropolitana (Área Metropolitana del Valle de Aburrá – CAI, 2014). La identificación de este impacto ha sido uno de los elementos clave que se han tenido en cuenta para el desarrollo de acciones para la mejora de la calidad del aire y de la salud de la población, como es este PIGECA.

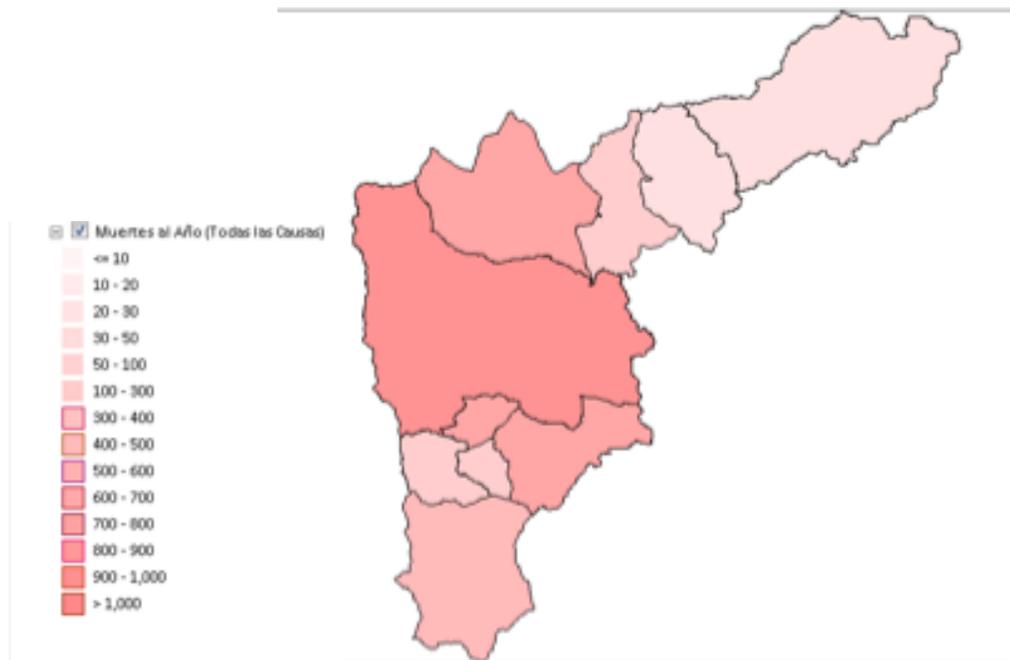
Como parte de la evaluación del PIGECA, se realizó una actualización de la estimación de la carga de enfermedad por contaminación del aire en los municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Para dicha estimación se utilizó el modelo BenMAP-CE desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA). La metodología detallada de evaluación se incluye en el Anexo 3 de este documento.

En la Tabla 14 y en la Figura 92. se presentan los resultados de la evaluación de la carga de enfermedad para el año 2015. De acuerdo con estos resultados, la contaminación del aire ocasionó 1.790 mortalidades prematuras en los municipios de Valle de Aburrá distribuidas en 1.748 mortalidades en adultos y 42 en niños. Esto equivale al 12% de la mortalidad en estos municipios y representa un costo de 2.3 billones de pesos.

Tabla 14. Carga de Mortalidad. Área Metropolitana del Valle de Aburrá

CRITERIO	Año base 2015
Mortalidad (Número de casos atribuibles a la contaminación en mayores de 30 años)	1,748
Mortalidad infantil (Número de casos atribuibles a la contaminación en menores de 1 año)	42
Total mortalidad	1,790
Valoración económica mortalidad (billones de pesos, precios constantes 2015)	2.3

Por otro lado, el siguiente mapa ilustra la distribución geográfica de la carga de mortalidad atribuible a la contaminación del aire estimada por el modelo BENMAP para cada municipio.



**Figura 92. Carga de mortalidad atribuible a la contaminación del aire en el Valle de Aburrá (Año 2015).
Todas las causas: Mayores 30 años (Pope, 2002)**

Los resultados de la carga de enfermedad estimada en el PIGECA se encuentran en el mismo orden de magnitud de la estimación realizada para el mismo año de referencia por el DNP (DNP, 2017). En la Tabla 15 se presenta el comparativo de los resultados de estas evaluaciones. Las diferencias en los resultados se encuentran dentro del margen de error de los estudios, y confirman la existencia de una problemática y la necesidad del desarrollo de acciones para proteger la salud de la población del Valle de Aburrá.

Tabla 15. Comparativo Evaluaciones PIGECA y DNP

CRITERIO	PIGECA (Año base 2015)	DNP (Año base 2015)
Total mortalidad	1,790	2,105
Porcentaje de mortalidad atribuible	12.0% ^a	12.3%
Valoración económica mortalidad (billones de pesos, precios constantes 2015)	2.3	2.8
Porcentaje del PIB	4.1%	5.0 %

^a. Excluye muertes por causas no naturales.

La mayoría de las muertes y de las enfermedades asociadas a la contaminación del aire son de tipo respiratorio, cáncer y padecimientos cardiovasculares (DNP, 2017). Los resultados de estos estudios

realizados de manera independiente constituyen un elemento de peso que justifica la necesidad de que el PIGECA establezca las metas, estrategias y medidas necesarias para reducir este impacto. Esto es de particular importancia cuando se tiene en consideración la evolución de estos impactos en el Área y en el país, con una población creciente, si los niveles de contaminación aumentan, los impactos de la contaminación del aire sobre la salud de la población pueden aumentarse dramáticamente, como se discute en el Capítulo 7 de este documento.

Teniendo en cuenta lo anterior, y el objetivo superior de la protección de la salud; las medidas del PIGECA buscan reducir la emisión de contaminantes y también reducir la exposición de la población, particularmente la de la población más vulnerable, así como fortalecer los sistemas de atención en salud frente a eventos de contaminación, fortalecer las estrategias de comunicación del riesgo y alerta temprana y crear entornos más saludables para los pobladores de la región a la vez que se construye una cultura ciudadana en pro de la calidad del aire.

Otras externalidades

Los efectos a la salud representan el principal impacto económico de la contaminación del aire. De acuerdo con el Banco Mundial, el costo de los impactos en salud de la contaminación del aire alcanzó en el año 2013, los 5.5 trillones de dólares (World Bank - IHME, 2016). Con niveles de contaminación en aumento, la OCDE estima que estos impactos podrían alcanzar los 25 trillones de dólares en el año 2060 (OECD, 2016).

No obstante, los impactos de la contaminación del aire no se relacionan exclusivamente con la salud. Diferentes investigaciones han demostrado que algunos contaminantes atmosféricos tienen impacto en el cambio climático; la productividad laboral; la productividad de bosques y cultivos agrícolas; y la disminución del valor de las viviendas entre otros. A continuación, se presenta una descripción de estas externalidades.

Impactos en cambio climático

Los impactos de la contaminación del aire suelen relacionarse en la escala local y regional. Sin embargo, algunos contaminantes atmosféricos tienen impactos en el cambio climático. Los Contaminantes Climáticos de Vida Corta (SLCP, por sus siglas en inglés) son un conjunto de compuestos con potencial de calentamiento del clima. Mientras que gases de efecto invernadero como el CO₂ tienen una duración en la atmósfera de 200 años, la vida en la atmósfera varía de unos pocos días a períodos de entre 10 y 15 años (CCAC, 2015). Debido a la corta vida útil de los SLCP, cabe esperar que las estrategias dirigidas a reducir sus emisiones proporcionen respuestas climáticas en un período relativamente corto de tiempo, es decir, décadas. Por el contrario, las reducciones en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) requerirán más tiempo para influir en las concentraciones atmosféricas y tendrán menos impacto en el clima en el corto plazo (CCAC, 2015). Se prevé que la aplicación de medidas de mitigación adecuadas para los SLCP reducirá el calentamiento global futuro en 0.2 - 0.7 °C. Si estas medidas se pusieran en

práctica en 2030, podrían reducir a la mitad el aumento potencial de la temperatura mundial proyectado para 2050.

Los SLCP principales son Carbono Negro (BC), Metano (CH₄), Ozono Troposférico (O₃) e Hidrofluorocarbonos (HFC). Para limitar el cambio climático en el corto, mediano y largo plazo, se necesitan estrategias combinadas para reducir tanto las emisiones de estos contaminantes como las de gases de efecto invernadero, mejorando las posibilidades de mantener los aumentos de la temperatura media mundial dentro del objetivo 2 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (PNUMA, OMM 2011). Además, las estrategias y políticas para reducir las emisiones procedentes de fuentes clave obtienen múltiples beneficios de la reducción simultánea de GEI, SLCP, contaminantes criterio y otras emisiones dañinas para la salud (World Bank y ClimateWorks 2014).

Específicamente, se calcula que el potencial de calentamiento global de Carbono Negro (BC por su siglas en inglés) es un millón de veces más alto que el CO₂ por unidad de masa (CCAC, 2015). El BC afecta directamente al clima al absorber la radiación entrante y saliente de todas las longitudes de onda, lo que contribuye al calentamiento de la atmósfera y atenuación en la superficie. Por otra parte, el BC acumulado en los glaciares oscurece su superficie, lo que reduce la reflectividad (albedo), dando como resultado una mayor absorción de calor y una fusión acelerada.

Además de sus impactos climáticos, el BC es un componente de las partículas de hollín asociadas a efectos nocivos para la salud. El hollín es una mezcla compleja de partículas respirables (por debajo del intervalo de las PM_{2.5}) que además de BC también incluye compuestos de carbono orgánico, diversos tóxicos del aire, metales pesados y otras sustancias nocivas. Las emisiones de hollín han sido un problema de salud pública desde la Edad Media, y siguen siendo un problema hoy relacionado con la escasa combustión de combustibles fósiles, biomasa y biocombustibles, y la falta de sistemas eficaces de control de emisiones.

Pérdidas en la productividad laboral

De manera tradicional las evaluaciones de los impactos en salud de la contaminación del aire evalúan la disponibilidad a pagar y los costos sobre el sistema de salud. Sin embargo, la contaminación del aire implica también costos por la disminución de la productividad laboral. Esta pérdida en la productividad se asocia a los días de trabajo perdido por incapacidad debido a enfermedades relacionadas con la contaminación, así como a días de actividad restringida por eventos de contingencia atmosférica en los cuales la actividad industrial, comercial, de servicios y el transporte se debe ver disminuida.

Pese a que los efectos agudos de la contaminación del aire, que pueden generar incapacidad laboral afectan principalmente a la población vulnerable (adultos mayores y niños menores de 5 años), los impactos laborales se extienden a otros grupos de población. El núcleo familiar de las personas afectadas experimenta los efectos de la incapacidad debido a la necesidad de reorganización o restricción de los horarios de trabajo. Así mismo, la población con prevalencia de asma, y la enfermedad



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



pulmonar obstructiva crónica (COPD), es vulnerable a los efectos agudos de la contaminación independientemente de su edad.

Por otra parte, los episodios de contaminación atmosférica presentan también impactos económicos. La declaratoria de contingencias atmosféricas viene acompañada de restricciones a la circulación de vehículos y de la actividad productiva. Estas restricciones implican costos económicos representados en mayores tiempos de desplazamiento, disminución de ventas y de producción.

Para el año 2013, los impactos por pérdida de productividad laboral en el mundo alcanzaron 225 billones de dólares (World Bank - IHME, 2016); en los países de América Latina y el Caribe, estos costos alcanzan los 10.4 millones de dólares (ibid.). De acuerdo con la OCDE, los costos por pérdida de productividad representan el 0,3% del PIB mundial del año 2015 y de continuar las tendencias de aumento de la contaminación, podrían alcanzar el 1,0% del PIB.

Impactos en cultivos agrícolas y bosques

Debido a su potencial de oxidación, el ozono puede afectar la productividad agrícola al penetrar en la estructura de las plantas y afectar su desarrollo (UNECE, 2004). Existe una sensibilidad diferenciada al ozono según el tipo de cultivo: la soya y el trigo presentan alta sensibilidad, mientras que se ha encontrado que la cebada presenta resistencia al ozono (ibid.). Las estimaciones de la Comisión Económica de Naciones Unidas para Europa (UNECE), indican que la pérdida de productividad de los cultivos por el ozono puede variar entre el 3% y el 16%.

Otro mecanismo por el cual la contaminación del aire afecta la productividad agrícola es la generación de lluvia ácida, que puede generarse por las emisiones de óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre. La lluvia ácida puede dañar la estructura de las plantas, así como acidificar el suelo, disminuyendo de esta forma la productividad. Adicionalmente, los contaminantes atmosféricos pueden obstruir los estomas de las plantas, reduciendo su capacidad de intercambio de gases (Rahul & Kumar, 2014).

De manera similar que con los cultivos agrícolas, la contaminación del aire afecta la productividad de los bosques. De acuerdo con investigaciones de la *International Union of Forest Research Organizations*, las políticas de la Unión Europea para la reducción de la contaminación transfronteriza (*Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*, CLRTAP) permitieron la recuperación de especies boscosas que habían sido afectadas por ambientes ácidos (Clarke & Lorenz, 2010).

Otros impactos

Otros impactos de la contaminación del aire incluyen la disminución de los precios de la vivienda, la afectación de la infraestructura urbana y el turismo.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Una investigación conducida para evaluar los efectos de la implementación de la Ley del Aire Limpio en Estados Unidos, evidenciaron que la disminución de la contaminación del aire condujo a un incremento del valor de las viviendas. De acuerdo con los resultados de la investigación, durante los primeros 10 años de implementación de la ley, las viviendas experimentaron un incremento de valor que en conjunto alcanzó los 50 billones de dólares (NBER, 1999).

Por su parte, la lluvia ácida es responsable de la corrosión de materiales como la caliza, el concreto, y metales. La continua exposición a lluvia ácida ocasiona el deterioro de edificios, esculturas al aire libre y monumentos implicando mayores costos de mantenimiento y reparación (*Environment Canada, 2010*). La industria del turismo también se ve afectada por la contaminación del aire. Investigaciones recientes muestran que la demanda de actividades turísticas se ve disminuida debido a altos niveles de contaminación que previenen a los turistas a visitar ciertas regiones (*Environment Canada, 2010*).

Como se ha demostrado, los efectos de la contaminación del aire sobre la salud en el Valle de Aburrá son severos y, a la vez, tienen consecuencias en la pérdida del Producto Interno Bruto de la región, lo cual afecta el bienestar y situación económica de los habitantes y las perspectivas de desarrollo sostenible de la región. Esta problemática ha recibido un creciente reconocimiento, en la medida que se cuenta con mayor información y una mayor percepción del riesgo por parte de la ciudadanía, dando lugar a distintas respuestas en términos de políticas, programas y acciones, los cuales se describen en el siguiente capítulo.

5 POLÍTICAS, PROGRAMAS Y ACCIONES

En los capítulos anteriores de este documento se ha realizado un recuento del contexto y los principales rasgos que caracterizan al problema de la contaminación del aire en el Valle de Aburrá. En primer lugar se ha mostrado que la contaminación del aire es un problema altamente extendido en el mundo, por lo cual se ha convertido en el principal riesgo ambiental a la salud pública de nuestros días y requiere atención prioritaria. Por otro lado, los procesos que dan lugar a la generación de los contaminantes atmosféricos están asociados a la combinación de múltiples factores demográficos, sociales, económicos, tecnológicos, energéticos, urbanos y culturales; dichos factores requieren ser identificados y entendidos para analizar tendencias e identificar soluciones efectivas y de alto impacto, que vayan al fondo de los problemas. Asimismo, los análisis realizados han mostrado que las emisiones contaminantes generadas por el transporte, la industria y los servicios se están incrementando aceleradamente. Consecuentemente, los niveles de contaminación del aire mantienen una tendencia ascendente, especialmente en el caso del material particulado menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$), a pesar de los esfuerzos realizados hasta ahora para mejorar la calidad del aire. También se ha encontrado que los niveles de contaminación del aire en el Valle de Aburrá están vinculados al incremento de síntomas y enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como al aumento de la mortalidad prematura atribuible a la contaminación atmosférica, causando un severo impacto al bienestar social y la economía del Valle de Aburrá.

A partir de este contexto, en este capítulo se realiza una revisión general de las políticas, programas y acciones emprendidas por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá para gestionar la calidad del aire. Este estudio ha tenido el propósito de identificar logros y fortalezas que sirvan de plataforma para la ejecución del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire 2017-2030, además de oportunidades de mejora que requieran ser incorporadas.

Contexto de las Políticas de Calidad del Aire en Colombia

La Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire en Colombia tiene como objetivo principal impulsar la gestión de la calidad del aire en el corto, mediano y largo plazo, con el fin de alcanzar los niveles de calidad del aire adecuados para proteger la salud y el bienestar humano, en el marco del desarrollo sostenible⁵¹. En Tabla 16 se presenta la normatividad y algunos principios de esta Política.

⁵¹ Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Ambiente. Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible.

Tabla 16. Marco normativo para la gestión de la calidad del aire en Colombia

Instrumentos y alcances
<p>En 1973 se expidió la Ley 23, cuyo propósito es “Prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional”.</p> <p>Dicha Ley le concedió facultades extraordinarias al gobierno nacional para expedir el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente – Decreto-Ley 2811 de 1974.</p> <p>En 1979, el Congreso de la República aprobó la Ley 9, mediante la cual se expidió el Código Sanitario Nacional, por medio de la cual se definieron normas, programas y medidas para la protección del medio ambiente. Se facultó al Ministerio de Salud, hoy Ministerio de la Protección Social, para proferir normas para el control de la contaminación atmosférica.</p>
<p>La norma que reguló la emisión y concentración de contaminantes a la atmósfera fue emitida en 1982, año en el cual se adoptaron los estándares de calidad del aire y de emisión por fuentes fijas mediante el Decreto 02, el cual reglamentó parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979 y el Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a emisiones atmosféricas y calidad del aire. Este decreto fue derogado parcialmente en 1995 mediante el decreto 948 y algunos artículos quedaron transitoriamente vigentes hasta el 2008.</p> <p>La Constitución Política de 1991 estableció una serie de derechos y obligaciones relacionados con el medio ambiente. En el Capítulo 3, los artículos 79 y 80 dispone que: “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano”.</p>
<p>En marzo de 2005, el Consejo Nacional de Política Económica y Social aprobó el documento CONPES 3344 que contiene los lineamientos para la formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire y recomienda adoptar los lineamientos propuestos en dicho documento para el desarrollo de estrategias de prevención y control de la contaminación del aire.</p>
<p>Contaminación del aire en Colombia</p> <p>De acuerdo con el análisis realizado en el año 2005 por el documento CONPES 3344 de 2005, la contaminación del aire en el país estaba causada principalmente por el uso de combustibles fósiles. El 41% del total de las emisiones se generaba en ocho ciudades. Las mayores emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) estaban ocasionadas por las fuentes móviles, mientras que las de partículas suspendidas totales (PST) y óxidos de azufre (SOx) eran generadas por las fuentes fijas.</p>
<p>Avances en el diagnóstico de la calidad del aire</p> <p>El diagnóstico de la calidad del aire del país, incluye la determinación del estado actual de las redes de calidad del aire, principales instrumentos para determinar el grado de contaminación; la identificación y origen de los contaminantes críticos en los centros urbanos con mayor contaminación atmosférica; la evaluación del efecto de dichos contaminantes en la salud de la población; y el aporte de cada tipo de fuente contaminante en la contaminación del aire.</p>

Instrumentos y alcances

Avances en el control y seguimiento por parte de las autoridades ambientales

Siguiendo el plan de acción planteado por el CONPES 3344 de 2005, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, diseñó un programa de fortalecimiento institucional dirigido a dotar a las autoridades ambientales de la capacidad necesaria para acometer sus responsabilidades en materia de prevención, control y monitoreo de la contaminación del aire. Este programa se centró en la adquisición de equipos de medición de la contaminación del aire y en la capacitación de los funcionarios de las autoridades ambientales que los operan, así como en la capacitación sobre los nuevos instrumentos normativos.

En el 2006 se expidió el Decreto 979 y la Resolución 601, que posteriormente fue modificada por la Resolución 610 de 2010, mediante los cuales se actualizan los estándares de calidad del aire y se establecen medidas para la atención de episodios por contaminación del aire para los niveles de prevención, alerta y emergencia.

En el 2006 el MAVDT expidió la Resolución 627 que determina los niveles máximos permisibles de emisión de ruido y ruido ambiental, tiempos de medida, ajustes a las mediciones, equipos de medida, condiciones meteorológicas, informes técnicos, entre otros aspectos; así como la obligación de elaborar mapas de ruido y planes de descontaminación por ruido.

En junio de 2008, Día Internacional del Medio Ambiente, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expidió la nueva reglamentación sobre emisiones de fuentes fijas, Resolución 909, que reglamenta los niveles de emisión de contaminantes que deberá cumplir toda la industria en el país, con la cual se actualiza la reglamentación expedida por el Ministerio de Salud en 1982, mediante el decreto 02.

El mismo 5 de junio de 2008, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, expidió la nueva reglamentación sobre fuentes móviles, Resolución 910, que modifica los niveles de emisión de contaminantes al aire por vehículos y motocicletas.

Avances en la estandarización de la gestión de calidad del aire

En la Resolución 601 de 2006, norma nacional de calidad del aire, se incluyó la necesidad de elaborar un protocolo para garantizar la calidad de la información sobre calidad del aire que se reporta en el país. Por tal razón, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT- adoptó, mediante la Resolución 650 de 2010, el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, para que las autoridades ambientales y los particulares que miden calidad del aire, cuenten con una herramienta para diseñar sistemas de vigilancia de calidad del aire o campañas de monitoreo, cumpliendo con los más altos estándares de calidad.

Avances en la calidad de los combustibles

Con respecto a la calidad de los combustibles, el MADVT realizó en 2006 una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) sobre combustibles⁵², que contó con la participación de más de 30 entidades relacionadas con el tema, que incluyó a los formuladores de política energética,

⁵² Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006. Lineamientos de Política de Energéticos Incluidos los Combustibles Líquidos y sus precios en Colombia.

Instrumentos y alcances

los productores, los consumidores, los distribuidores, los fabricantes de tecnología y en general todos los afectados por el uso de combustibles. Esta evaluación le permitirá al Ministerio de Minas y Energía, diseñar una política integral para los combustibles con los actores mencionados anteriormente, que involucre el impacto ambiental que genera su uso, así como la promoción de tecnologías más limpias de alto rendimiento energético y el uso de combustibles más limpios.

El marco institucional para la gestión de la calidad del aire

Durante los últimos treinta años, Colombia ha realizado esfuerzos para lograr la ejecución y cumplimiento de las estrategias dirigidas a prevenir y controlar la contaminación del aire. Estos esfuerzos requieren mantener la gestión coordinada entre los diferentes sectores involucrados con el fin de resolver los crecientes problemas ambientales en relación con la contaminación atmosférica.

En la Tabla 17 se presenta un resumen de los principales documentos CONPES relacionados con las políticas de calidad de aire.

Tabla 17. Documentos CONPES relacionados con la gestión de la Calidad del Aire

Documento	Alcance
CONPES 3550 del 2008 Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química⁵³	<p>En este documento se presentan los lineamientos para la formulación de una Política Integral de Salud Ambiental, con el fin último de contribuir bajo un enfoque integral al mejoramiento de la calidad de vida y el bienestar de la población colombiana. El documento presenta un diagnóstico, marco conceptual, objetivos, lineamientos, organización institucional y un plan de acción que tienen como propósito, fortalecer la gestión integral para la prevención, manejo y control de diferentes factores ambientales que tienen el potencial de originar efectos adversos en la salud humana, enfatizando especialmente en los componentes de calidad del aire en exteriores e interiores, calidad de agua y seguridad química.</p> <p>Normatividad Decreto 948 de 1995 el cual contiene el Reglamento de Protección y Control</p>

⁵³CONPES 3550 Lineamientos para la formulación de la Política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Ministerio de Educación Nacional (MEN), Ministerio de Comercio, Industria, y Turismo (MCIT), Ministerio de Minas y Energía (MME), Ministerio de la Protección Social (MPS), Ministerio de Transporte (MT), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Instituto Nacional de Salud (INS), Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), Colciencias, Departamento Nacional de Planeación (DNP). Bogotá D.C., 24 de noviembre de 2008

Documento	Alcance
	<p>de la Calidad de Aire.</p> <p>Decreto 2107 de 1995 y 979 de 2006, por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.</p> <p>Decreto 244 de 2008 por el cual se crea y reglamenta la comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Prevención y el Control de la Contaminación del Aire – CONAIRE.</p> <p>Resolución 601 de 2006 (MAVDT), por la cual se establece la norma de calidad del aire.</p> <p>Resolución 909 de 2008 del (MAVDT), por la cual se establecen normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.</p> <p>Resolución 910 de 2008 (MAVDT), por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, entre otras.</p>
<p>CONPES 3344 de 2005 Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire⁵⁴</p>	<p>Presenta los lineamientos para la formulación de políticas y estrategias intersectoriales para la prevención y el control de la contaminación del aire en las ciudades y zonas industriales de Colombia.</p>
<p>CONPES 3260 de 2003 Política nacional de transporte urbano y masivo⁵⁵</p>	<p>Este documento presenta la política del Gobierno Nacional para impulsar la implantación de sistemas integrados de transporte masivo –SITM– en las grandes ciudades del país y fortalecer la capacidad institucional para planear y gestionar el tráfico y transporte en las demás ciudades, con el propósito de incrementar su calidad de vida y productividad, e impulsar procesos integrales de desarrollo urbano, dentro de un marco de eficiencia fiscal que promueva nuevos espacios para la participación del sector privado en el desarrollo y operación del transporte urbano de pasajeros.</p>
<p>CONPES 3759 de 2013</p>	<p>La Política Nacional de Transporte Público Automotor de Carga, identifica la</p>

⁵⁴ CONPES 3344 Lineamientos para la formulación de la Política de prevención y control de la contaminación del aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Ministerio de Minas y Energía (MME), Ministerio de la Protección Social (MPS), Ministerio de Transporte (MT), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Departamento Nacional de Planeación: DDUPA, DDS, DIES. Bogotá D.C., 14 de marzo de 2005

⁵⁵ CONPES 3260 Política nacional de transporte urbano y masivo. DNP: DIE- GEINF, Ministerio de Transporte, Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Bogotá D.C., 15 de diciembre de 2003

Documento	Alcance
Lineamientos de política para la modernización del transporte automotor de carga y declaratoria de importancia estratégica del programa de reposición y renovación del parque automotor de carga ⁵⁶	necesidad de promover la modernización del servicio orientada a la mejora de estándares de competitividad, definiendo así los ejes estratégicos de actuación, dentro de un marco de facilitación del comercio exterior, seguridad a los actores y operaciones del mercado, y organización del sector empresarial. Define lineamientos de política para la modernización del transporte automotor de carga, orientados al desarrollo integral del sector y a la renovación de la flota de manera sostenible. Programa de Reposición y renovación del parque automotor de carga, de conformidad con La Ley 819 de 2003 y el Decreto 4730 de 2005.

Antecedentes de la gestión de la calidad del aire en el Valle de Aburrá

La creación del Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha significado la posibilidad de integrar políticas y acciones multisectoriales a escala metropolitana. En este sentido, el papel de autoridad regional del Área Metropolitana del Valle de Aburrá faculta a la entidad para promover, planificar y coordinar el desarrollo conjunto y la prestación de servicios, abarcando hoy en día a los 10 municipios que conforman el Valle de Aburrá. La entidad tiene el compromiso de consolidar el progreso y el desarrollo armónico de la gran región metropolitana (Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Itagüí, Caldas, Sabaneta, La Estrella y Envigado), con funciones de planeación, autoridad ambiental urbana y de transporte masivo y público colectivo, con radio de acción metropolitano; así como hacer más racional la prestación de los servicios públicos, ejecutar obras civiles y asumir políticas y decisiones de beneficio común, y que correspondan a hechos metropolitanos. De esta manera, las atribuciones del Área Metropolitana en relación con los temas mencionados le permiten incidir sobre múltiples aspectos que influyen en la calidad del aire a escala de todo el Valle de Aburrá. Ello confiere al Área Metropolitana del Valle de Aburrá una fortaleza especial que favorece una visión integral de la gestión de la calidad del aire en relación con otras instituciones similares del país y la región de América Latina y el Caribe.

En relación con el tema específico de gestión de la calidad del aire, los esfuerzos del Área Metropolitana iniciaron hace casi dos décadas. La Tabla 18 muestra los principales hitos de este proceso iniciado en

⁵⁶ CONPES 3759 Lineamientos de política para la modernización del transporte automotor de carga y declaratoria de importancia estratégica del programa de reposición y renovación del parque automotor de carga. DNP – DIES, DIFP, OAJ, Ministerio de Transporte, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Bogotá D.C., 20 de agosto de 2013

1999 con la elaboración del Programa de Protección y Control de la Calidad del Aire. A principios de la década pasada, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá dio inicio al monitoreo atmosférico y se adhirió a REDAIRE, el cual es un convenio de cooperación científica y tecnológica para el conocimiento de la calidad del aire y la meteorología, donde participan universidades públicas y privadas locales, además de autoridades ambientales locales. En 1995, el Gobierno Nacional emitió el decreto 948 que reglamentó aspectos relacionados con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire, decreto que fue posteriormente modificado por el decreto 979 de 2006 en temas como la declaración de áreas fuente de contaminación, la definición de episodios críticos de contaminación y las medidas para atenderlos.

En el año 2007, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá concertó con múltiples actores el Pacto para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. En el 2010 el Gobierno Nacional emitió la Resolución N. ° 610 que actualiza las normas de calidad del aire, expedidas mediante Resolución 601 de 2006. Al año siguiente, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá emite el Acuerdo Metropolitano N.°8 que declara al Valle de Aburrá como área fuente de contaminación, y adopta el Plan de Descontaminación del Valle de Aburrá. Entre los años 2014 y 2015, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá firmó acuerdos de voluntades con varios actores sectoriales y a fines del 2015 emite la Resolución Metropolitana 2381 mediante la cual se establecen niveles de contingencia atmosférica para el Valle de Aburrá, los cuales no solamente son más estrictos que la norma nacional sino que incluyen al contaminante PM_{2.5}. En marzo de 2016, se declara la primera contingencia atmosférica en el Valle de Aburrá visibilizando frente al conjunto de la sociedad, el problema de contaminación atmosférica en la metrópoli. Mediante el Acuerdo Metropolitano N. °15 de 2016, se adopta el protocolo para atender episodios críticos de contaminación del aire en la región.

Tabla 18. Avances en la gestión de la calidad del aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

LINEA DE TIEMPO GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	
AÑO	HITO
1999	Diseño del Programa de Protección y Control de la Calidad del aire en el Valle de Aburrá.
2001	Monitoreo sistemático de la calidad del aire. Integración del Área Metropolitana del Valle de Aburrá a REDAIRE.
2006	Expedición del Decreto Nacional 979: áreas fuente de contaminación, niveles de contingencia. Expedición de la Resolución 601: normas de calidad del aire
2007	Acuerdo Metropolitano N. °25 de 2007 (Declaración de áreas fuente de contaminación por partículas suspendidas totales-PST). Pacto por la calidad del aire.
2008	Inicio Monitoreo de PM _{2.5} en el valle de Aburrá Convenio con Ecopetrol para mejoramiento de calidad de la gasolina y el diésel en relación con su contenido de azufre.

LINEA DE TIEMPO GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	
2010	Resolución 610/2010. Normas de calidad del aire, incluyendo norma para PM _{2.5} .
2011	Acuerdo Metropolitano N. °8 de 2011: Declaración del valle de Aburrá como área fuente de contaminación y Adopción del Plan de Descontaminación del Aire (incluye Plan para enfrentar episodios críticos), enfocado al PM _{2.5} .
2014-2015	Firma de Acuerdos de voluntades con diferentes sectores. Actualización del Plan Operacional para enfrentar episodios críticos de contaminación atmosférica. Resolución 2381 de 2015. Se adoptan niveles de contingencia atmosférica para el valle de Aburrá.
2016	Declaración contingencia atmosférica en el valle de Aburrá marzo-abril. Acuerdo Metropolitano N. °15 de 2016: se adopta el Protocolo para enfrentar episodios críticos de contaminación atmosférica

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2016).

A continuación se describen algunos de los aspectos más importantes que caracterizan este tránsito del Área Metropolitana del Valle de Aburrá hacia una gestión integral de la calidad del aire.

Implementación de la red de monitoreo atmosférico

Como se ha mencionado, la red de monitoreo atmosférico comenzó a operar a principios de la década pasada, a través de un convenio con la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. En el Capítulo 3 se ha descrito ampliamente la estructura, evolución, operación y resultados de la red de monitoreo atmosférico. Desde el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá -SIATA-, proyecto de la Alcaldía de Medellín y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, que cuenta con el apoyo y los aportes de EPM e ISAGEN, se opera actualmente la Red de monitoreo de calidad del aire del Valle de Aburrá. La operación del SIATA se hace a través de un contrato entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad EAFIT. La Red de monitoreo de calidad del aire, es uno de los pilares fundamentales de la gestión de la calidad del aire, porque permite generar información fehaciente y oportuna necesaria para registrar y dar seguimiento a los niveles y variación de contaminantes en la atmósfera, mediante las estaciones instaladas en lugares estratégicos de la región metropolitana. Entre otros logros, la red opera bajo altos estándares de funcionamiento, cuenta con un grupo de profesionales altamente calificado para el desempeño de sus responsabilidades y cuenta con herramientas que permiten comunicar los resultados del monitoreo de manera permanente, además de haber incorporado a una amplia participación ciudadana a través del Programa de Ciudadanos Científicos.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Elaboración de Inventarios de Emisiones

Por otro lado, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá inició la elaboración metódica de inventarios de emisiones, también en la década pasada, en convenio con la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). A través de un trabajo sistemático y consistente, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá cuenta hoy en día con inventarios de emisiones que abarcan a las fuentes móviles, fuentes fijas y fuentes de área de todo el Valle de Aburrá, los cuales se actualizan cada dos años. Tales inventarios de emisiones tienen un importante nivel de detalle y distribución geográfica, lo cual sirve de base para la identificación de prioridades y oportunidades de reducción de emisiones. Asimismo, el equipo de investigadores de la UPB a través de convenio, brinda apoyo continuo al Área Metropolitana del Valle de Aburrá para la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes y la integración de evaluación de parámetros meteorológicos en calidad del aire, los cuales hacen parte de herramientas fundamentales que han sido igualmente desarrolladas como parte del fortalecimiento de la gestión de la calidad del aire de la Entidad.

No obstante, existen importantes oportunidades de mejora para introducir en las próximas actualizaciones del Inventario de emisiones del Valle de Aburrá, tales como la incorporación de estimaciones que fortalezcan el aporte de fuentes de área (emisiones residenciales, aplicación de solventes, procesos de erosión, quemas agrícolas e incendios, entre otras), así como la caracterización de emisiones de fuentes distintas a los procesos de combustión en la industria y los servicios. Además, se requiere ampliar la cobertura geográfica del Inventario de Emisiones, considerando la creciente interacción del Valle de Aburrá con el entorno rural y las aglomeraciones urbanas vecinas, así como la necesidad de mejorar la comprensión del impacto de la dispersión, transporte y transformación a escala regional.

Pacto para el mejoramiento de la calidad del aire en el Valle de Aburrá 2007

A mediados de la década pasada, las mediciones de calidad del aire registradas por la red de monitoreo atmosférico, revelaron que el Valle de Aburrá tenía ya un creciente problema de contaminación del aire, especialmente en lo relativo a altas concentraciones de partículas suspendidas totales, que era el parámetro que se medía en ese tiempo. En estas circunstancias, el Área Metropolitana emprendió la preparación del Pacto para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá, cuya firma fue realizada en octubre de 2007. Desde ese entonces, reconoció que la magnitud y complejidad del problema de contaminación del aire requería acciones de alto alcance y la participación del gobierno nacional, autoridades municipales, autoridades ambientales, empresas del Estado, sector privado, organizaciones de la sociedad civil y universidades, entre otros. Entre los firmantes del Pacto se destacan el Ministro del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el Director de la Organización Panamericana de la Salud, los alcaldes de los municipios que hace parte del Área Metropolitana, el Presidente de Ecopetrol y el Gerente de Empresas Públicas de Medellín, entre otros. Se hace notoria la ausencia en el Pacto, de representantes de organizaciones de transporte público colectivo.

El Pacto incluyó un total de 21 medidas, las cuales se mencionan a continuación:

- 1) Crear y facilitar el acceso a incentivos para el recambio tecnológico y de combustible en fuentes fijas.
- 2) Las fuentes fijas no podrán emitir humos con emisiones que superen el tiempo definido por el manual de operación de equipo para lograr el tiempo de estabilidad de la combustión.
- 3) Legalización de las actividades de extracción y disposición de materiales de construcción.
- 4) Aplicar sistemas de minimización y control de las actividades que generan emisiones.
- 5) Calificar y certificar los operarios de las calderas y hornos.
- 6) Formular e implementar incentivos para la conversión tecnológica, combustibles y el uso de energías limpias en el parque automotor.
- 7) Incrementar las exigencias de los centros de diagnóstico para el parque automotor (vehículos y motos).
- 8) Implementar un sistema de transporte masivo en el Valle de Aburrá.
- 9) Racionalizar el uso del parque automotor público y privado.
- 10) Mejorar la calidad de los combustibles líquidos (contenido de azufre y benceno).
- 11) Coordinar la gestión y coordinación para la construcción de obras de infraestructura que mejoren la movilidad.
- 12) Desarrollar un programa de autorregulación para transporte de carga y de transporte público y servicios especiales de pasajeros.
- 13) Implementar el Pico y Placa Ambiental.
- 14) Implementar medidas de control en la circulación de vehículos particulares.
- 15) Incentivar el uso de vehículos de transporte público masivo y colectivo.
- 16) Diseños de rutas con criterios ambientales.
- 17) Programa de sensibilización a la población en las buenas prácticas de conducción y de mantenimiento adecuado de combustible.
- 18) Mejorar el control en relación con los tiempos de ejecución de las obras civiles, utilización del espacio público y prácticas ambientales.
- 19) Implementación de la Red de Vigilancia Epidemiológica y de calidad del aire.
- 20) Implementación del Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes.
- 21) Consolidación del Parque Central de Antioquia. Reglamentar y controlar el crecimiento urbano en el área rural alrededor del valle.

Como resultado del Pacto del 2007, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá acordó y materializó con el Gobierno Nacional y Ecopetrol el mejoramiento de la calidad de los combustibles, disminuyendo el contenido de azufre de más de 3.200 ppm a menos de 50 ppm de azufre en el diésel y de 1.000 ppm a menos de 300 ppm de azufre en la gasolina. El cumplimiento de esta acción permitió, por una parte, reducir las emisiones del parque vehicular en circulación. Por otra parte, creó las condiciones para iniciar la modernización de la flota vehicular posibilitando, en el caso del diésel por ejemplo, la introducción de unidades nuevas de menores niveles de contaminación, con límites de emisión equivalentes al estándar Euro IV. Otros logros derivados del Pacto incluyen la instalación de sistemas de control de emisiones contaminantes en algunas industrias; la realización de gestiones que permitieron avanzar en la implementación del SITVA (Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá); la renovación de flotas



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



en el sistema de transporte público de pasajeros; la implementación del Pico y Placa Ambiental; la ejecución del programa “Más bosques para Medellín” y la realización del “Estudio del Impacto de la Calidad de Combustibles en la Calidad del Aire” que concluyó que la disminución del azufre en el combustible permitiera una reducción global en los niveles de contaminación del aire por $PM_{2.5}$, hasta en un 27%.

Por primera vez en el Valle de Aburrá, el Pacto hizo patente el reconocimiento público del problema de contaminación atmosférica y enfatizó la importancia del compromiso de los diferentes actores públicos y privados de realizar acciones para mejorar la calidad del aire. También por primera vez, el Pacto estableció una meta de mejora de la calidad del aire, comprometiendo una disminución del 10% de contaminantes atmosféricos en el aire del Valle de Aburrá, en un periodo de 5 años. No obstante, ello no ocurrió. Por una parte, la insuficiente efectividad del Pacto podría deberse a que las tendencias de calidad del aire requerían desde ese tiempo un enfoque de mayor alcance que las establecidas en él, lo cual estaba limitado entre otros aspectos por la escasa información que existía en ese momento como fundamento del Pacto. Por otro lado, también podría deberse a que el Pacto careció de un arreglo institucional que facilitara la articulación permanente entre autoridades y actores involucrados, así como de compromisos, mecanismos y estructura organizacional que permitiera al Área Metropolitana del Valle de Aburrá dar seguimiento a las acciones, evaluar avances y comunicar públicamente resultados, así como reforzar las medidas originalmente comprometidas en virtud de los resultados en el comportamiento de la calidad del aire.

Plan de Descontaminación del Aire del Valle de Aburrá 2010

El Plan de Descontaminación del Aire fue diseñado durante el 2010, y formalmente adoptado mediante Acuerdo Metropolitano N. ° 08 en el 2011, expedido con fundamento en el artículo 9° de la Resolución 601 de 2006 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El objetivo principal del Plan de Descontaminación del Aire es la protección de la salud de la población por medio del control de la calidad del aire en el Valle de Aburrá, a través de la adopción de programas y medidas administrativas pertinentes y eficaces.

En el Plan se establecen las medidas estructurales de prevención y control de emisiones (enfoque de mediano-largo plazo) como las medidas a incorporar en un Plan Operacional para enfrentar episodios de alta contaminación en el Valle de Aburrá (enfoque de corto plazo). Desde la emisión del Plan, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha trabajado en implementar las medidas del Plan y un mecanismo para operativizarlas han sido acuerdos de voluntades. Entre el 2014 y 2015 se firmaron varios de estos acuerdos, entre los que destacan el relativo al sector transporte de carga; con el sector de la construcción; con el sector industrial; con el transporte público colectivo; y con ensambladores de motocicletas, entre otros.

La adopción del Plan de Descontaminación del Aire ofreció la oportunidad de establecer un enfoque integrado para el diseño de regulaciones y acciones dirigidas a alcanzar la reducción de emisiones necesarias para el cumplimiento de los estándares de calidad del aire. La meta de calidad del aire planteada en el Plan de Descontaminación para el PM_{2.5} fue lograr una concentración de 25 µg/m³ para el año 2015 y de 20 µg/m³ para el año 2020. En la Figura 93 se realiza de manera indicativa una evaluación del cumplimiento de las metas de calidad del aire previstas para el año 2015, usando los resultados del informe de calidad del aire de dicho año. Como puede observarse, las metas previstas no fueron alcanzadas. Por el contrario, los niveles de PM_{2.5} se han incrementado significativamente frente a los del 2009.

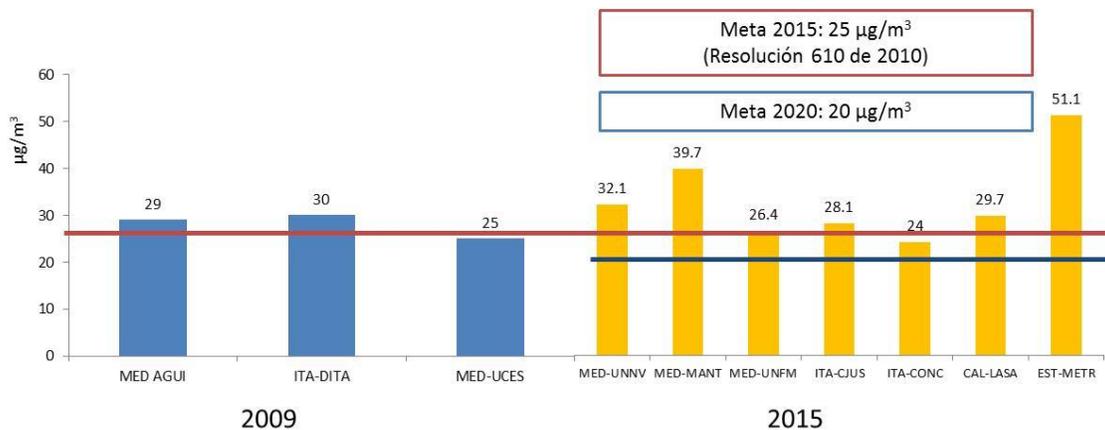


Figura 93. Niveles de calidad del aire vs metas establecidas en el Plan (PM_{2.5})

Fuente: Informes Anuales de Calidad del Aire. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

La meta de reducción de emisiones del Plan de Descontaminación se definió a partir de un techo de emisiones de PM_{2.5} que permitiera cumplir la meta de calidad del aire del año 2020 (20 µg/m³). De acuerdo con los resultados de las simulaciones realizadas, esto correspondía a un techo de emisión de 2.456 toneladas/año, lo cual representa una reducción de 164 toneladas/año frente a las emisiones del año base.

Para lograr estas reducciones se establecieron metas específicas para las fuentes fijas y las fuentes móviles. En el caso de la industria, con una emisión de 1.061 ton/año de PM_{2.5} para el año base, se estableció una meta de reducción del 15,5% de sus emisiones (164 ton/año). Por su parte, para el caso de las fuentes móviles, se estableció como meta mantener el mismo nivel de emisiones del año base (1.559 ton/año).



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



La estrategia para el cumplimiento de la meta consiste en establecer medidas estructurales de mediano y largo plazo para el control de las emisiones vehiculares, emisiones industriales, fortalecimiento de capacidades y el seguimiento a las metas de reducción.

Se resaltan las medidas propuestas para el control de emisiones vehiculares, entre las que se encuentra el mejoramiento de los combustibles, el control al certificado de revisión técnico mecánica emitido en los Centros de Diagnóstico Automotriz -CDA- y la fiscalización permanente en las vías.

La implementación del Plan Maestro de Movilidad en el Valle de Aburrá que incluye el Sistema Integrado de transporte -SITVA- (metro, metrocable, Metroplús, tranvía, Encicla), los convenios de cooperación con el sector de transporte público colectivo (racionalización y renovación), son medidas fundamentales que incentivan el uso de transporte público y favorecen la decisión de las personas para preferir este tipo de transporte en lugar del privado.

Con relación a los vehículos livianos, motos y camiones, se busca que su parque automotor esté conformado por vehículos con tecnologías más limpias y eficientes; además de que se incluyen restricciones de movilidad como el pico y placa ambiental o la suspensión del ingreso y el ensamble de motos de dos tiempos en el Valle de Aburrá. La exigencia de establecer Planes de Movilidad Empresarial Sostenibles (Planes MES), mediante la Resolución Metropolitana 2381 de 2015, modificada posteriormente por la Resolución Metropolitana 1379 de 2017, es un aspecto a destacar en la región.

Para el sector industrial, se definieron medidas como el aseguramiento de la calidad en las mediciones, el cumplimiento de la normatividad nacional que regula las emisiones atmosféricas, la definición de incentivos, mejorar la calidad de los combustibles, entre otros. Se destaca la expedición de la Resolución Metropolitana 912 de 2017, que enfoca al sector industrial a hacer una gestión integral para mejorar la calidad del aire, incluyendo capacitación permanente a operarios, revisión continua de variables de combustión, automatización de alimentación de combustibles, entre otras.

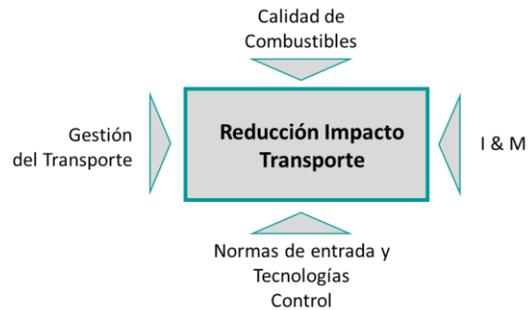
En el siguiente diagrama se muestra un resumen de las medidas contenidas en el Plan de Descontaminación del 2011, para los sectores de transporte, industria y educación, así como medidas complementarias.

PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DEL AIRE

Medidas estructurales de mediano y largo plazo

> Sector Transporte

- Avanzar en el mejoramiento de los combustibles vehiculares desulfuración en diésel y gasolina
- Fortalecer el sistema de inspección y mantenimiento vehicular de I/M.
- Aplicar normas de entrada mas exigentes a vehículos nuevos
- Generar incentivos para la renovación del parque vehicular.
- Moderar el incremento del transporte privado fortaleciendo el sistema de transporte público SITVA
- Reducir el impacto del crecimiento de las motocicletas y restringir el ingreso de motos nuevas de 2 tiempos.
- Establecer normas de entrada mas restrictivas para las motos de 4 tiempos



> Sector Industrial

- Fortalecer las capacidades para el aseguramiento de la calidad en las mediciones en las fuentes fijas
- Asegurar el cumplimiento de la Resolución 909/2008 como primera etapa en la regulación industrial
- Establecer en el mediano plazo el techo de emisiones para las fuentes fijas existentes bajo el Decreto 979 de 2006
- Evaluar el establecimiento de normas de entrada mas exigentes para fuentes nueva
- Evaluar incentivos para el uso de combustibles limpios

Calidad de combustibles industriales:

* Carbón Coke: 0,56% de Azufre (5.600 ppm)

* Fuel Oil Nº6: 1,54 % Azufre (15.400 ppm)

→ Bajar contenido de azufre.

> Sector Educación

Promover practicas que contribuyan a mejorar la calidad del aire

- Uso racional del vehicula particular
- Promoción del transporte publico colectivo
- Promoción de alternativas de transporte sostenible

> Medidas complementarias

- Recuperación de Vapores en Cadena de Distribución de Combustibles
Diseñar e implementar exigencia para recuperación de vapores en toda la cadena de distribución.
- Incentivos al uso de gas natural
Buses de Metroplus operarán con GNC
Explorar incentivos a vehículos dedicados en flotas alto consumo (taxis)
- Incorporación de biocombustibles (vigente) Etanol (E85) y Biodiesel (B20)
- Incentivos a vehículos de baja y cero emisión
Están siendo definidos por el Ministerio de ambiente: Vehículos híbridos, GN Dedicados y Eléctricos.

Figura 94. Medidas estructurales que propone el Plan de Descontaminación del 2010

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2016)



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Otros planes y programas en marcha

Plan Integral de Desarrollo Metropolitano – Plan Metrópoli 2008 – 2020

En ejercicio de sus competencias, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá elaboró el Plan Metrópoli 2002-2020 (Plan Integral de Desarrollo Metropolitano, PIDM) adoptado mediante el Acuerdo Metropolitano 18 de 2001, donde se exponen las estrategias para un desarrollo económico, social y ambiental sostenible y en compañía de las administraciones municipales. (AMVA, 2008).

Posteriormente, se revisa y ajusta el Plan Integral de Desarrollo Metropolitano a la luz de lo dispuesto por el Acuerdo Metropolitano N. °15 del 2006, bajo los principios de Desarrollo con equidad, Pluralidad y Sostenibilidad, propendiendo por la materialización de los contenidos de las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial (DMOT) y potenciar el desarrollo tanto del territorio bajo su jurisdicción como el de la región circundante; este ejercicio fue validado mediante la adopción del nuevo Plan Integral de Desarrollo Metropolitano –Metrópolis 2008-2020–, mediante el Acuerdo Metropolitano 40 de 2007. (AMVA, 2012).

El PIDM es una herramienta de gestión de largo plazo el cual le brinda a la Entidad el componente estratégico y se constituye en el marco o norma de superior jerarquía que determina las actuaciones de la Entidad, a su vez, genera puntos de articulación con los planes de desarrollo municipales en lo referido a los Hechos Metropolitanos.

El Plan Metrópoli 2008-2020 cuenta con una estructura de cuatro niveles, en los cuales el nivel superior está representado en la Visión 2020: *“Una región articulada, con oportunidades de desarrollo sostenible para todos sus habitantes, altos niveles de calidad de vida, con una ciudadanía responsable y participativa, que cree y confía en sus instituciones”*.

Para el logro de la visión en el horizonte de planificación a 2020, el Plan Integral de Desarrollo Metropolitano Metrópoli 2008-2020 se propone los siguientes objetivos:

- Forjar un ambiente sano y mejorar la calidad de vida.
- Consolidar altos niveles de gobernanza en el Valle de Aburrá.
- Consolidar la institucionalidad, autoridad y legitimidad del sistema político de alcance metropolitano.
- Consolidar el modelo de ocupación en el Valle de Aburrá y el sistema regional de ciudades.

A pesar de sus logros, la información disponible señala que el Plan de Descontaminación del 2011 ha sido insuficiente para revertir las tendencias actuales de crecimiento de las emisiones contaminantes y aumento de los niveles de contaminación atmosférica. El Plan carece de un marco de resultados e indicadores, lo cual dificulta su seguimiento y evaluación. Ello ha fundamentado la necesidad de llevar a cabo una actualización y repotenciación del mismo.

Beneficios del Pacto y el Plan de Descontaminación

El Pacto por la Calidad del Aire del 2007 y el Plan de Descontaminación del aire del 2011, han sentado las bases para evidenciar la problemática de la calidad del aire, así como la necesidad de actuar de manera articulada, definiendo roles para cada uno de los actores sociales que inciden en la contaminación. Más allá, entre las lecciones aprendidas se destaca la importancia de que la magnitud del esfuerzo destinado para mejorar la calidad del aire sea consistente con la gran importancia y prioridad del problema y los enormes desafíos que entraña.

Planes de Gestión del Área Metropolitana

Cada cuatro años, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá establece su Plan de Gestión como parte del cumplimiento de sus compromisos institucionales, documento que se considera la hoja de ruta en el cual se proponen los proyectos estratégicos que en forma prospectiva indicarán el camino para la gestión, en coherencia con de la responsabilidad misional de la entidad. Este instrumento se enmarca en el Plan Integral de Desarrollo Metropolitano, Plan Metrópolis 2008 – 2020.

En el Plan de Gestión del 2012-2015 “Pura Vida”, incluyó siete líneas de actuación resaltando la Línea 2 de Movilidad e Infraestructura Sostenible, y la Línea 4 Cinturón Verde y Sostenibilidad Ambiental que tienen la relación directa con la gestión de la calidad de aire. A continuación en la Tabla 19 se resume lo que incluye cada una de estas líneas.

Tabla 19. Líneas estratégicas del Plan de Gestión del 2012-2015

Línea estratégica	Objetivos propuestos relacionados con la gestión de la calidad del aire
Línea 2. Movilidad e Infraestructura Sostenible	Comprende el conjunto de acciones orientadas al cumplimiento de la autoridad de transporte masivo y metropolitano y al fortalecimiento del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá, así como el planteamiento y desarrollo de alternativas de movilidad ambientalmente sostenibles, y el mejoramiento de la infraestructura peatonal y vial como elementos estructurantes del orden regional.

Línea estratégica	Objetivos propuestos relacionados con la gestión de la calidad del aire
<p>Línea 4. Cinturón Verde y Sostenibilidad Ambiental</p>	<p>Consolidación del modelo de ocupación metropolitana basado en la optimización del espacio urbano central, la protección ambiental, la implementación de prácticas de producción limpia y consumo sostenible como estrategia preventiva para mejorar en las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas el desempeño ambiental y la optimización en el uso de los recursos naturales.</p> <p>Esta línea incluyó el Programa Implementación del Plan de Descontaminación del Aire estableciendo la meta de contribuir con la reducción de la concentración de partículas menores de 2.5 micras $PM_{2.5}$ a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al año 2015 (tomando como referencia las estaciones: Universidad Nacional Facultad de Minas: $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Itagüí Casa de Justicia: $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Sector Miguel de Aguinaga: $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$).</p>

Fuente: (AMVA, 2012).

Cabe resaltar que el recurso aire es afectado de manera positiva o negativa por las acciones que se realicen desde los diferentes ámbitos y actividades económicas, productivas o asociadas a los procesos urbanos. En este sentido, las gestiones realizadas en los procesos de habitabilidad e infraestructura, gestión de residuos sólidos, áreas verdes urbanas, fortalecimiento de capacidades y educación ambiental de los ciudadanos y empresarios favorece de manera directa o indirecta la calidad del aire.

Por su parte, el Plan de Gestión para el 2016-2019 “Territorios Integrados”, define 6 líneas estratégicas (Figura 95). La calidad del aire, prevención y control de la contaminación atmosférica, que es mencionada de manera explícita como un programa de la Línea 2, enmarca la actualización del Plan de Descontaminación del Aire y el Pacto por la Calidad del Aire. Esta línea también incluye proyectos enfocados en la recuperación de áreas verdes urbanas mediante el programa “BanCO2 Metropolitano”, la gestión de residuos sólidos aprovechables y el acompañamiento a empresas para aumentar su eficiencia energética, uso de agua, gestión adecuada de sustancias químicas y residuos. Incluye también la continuidad del proyecto del Sistema de Alertas Tempranas (SIATA), que permite obtener información valiosa sobre las condiciones meteorológicas y de calidad del aire del Valle de Aburrá y las variables que influyen de manera directa en la dispersión de los contaminantes.

También se propone realizar un estudio epidemiológico de impacto en la salud por la calidad del aire. Se realizarán convenios con las secretarías de Salud de los diferentes municipios de la jurisdicción y con la academia.

Por otro lado, se pretende realizar un estudio sobre la calidad de los combustibles que actualmente son suministrados y empleados en el Valle de Aburrá por parte de las fuentes móviles y fuentes fijas. Conocer las características de estos energéticos permite determinar las posibles emisiones y sustancias



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



contaminantes que podrán estar presentes en el aire para tomar acciones preventivas y promover el mejoramiento de su calidad, desde las diferentes instancias locales y nacionales.

De igual manera, la Línea estratégica 3 se enfoca en la movilidad sostenible, segura y amable promoviendo el uso de la bicicleta, la integración del transporte público, la operación logística y de carga, la seguridad vial y la conectividad física. Se espera que estas acciones influyan de manera directa en la calidad del aire y permitan reducir las emisiones de $PM_{2.5}$, al mismo tiempo que de CO_2 contribuyendo a la meta nacional definida en el Acuerdo de París, sobre reducir las emisiones de Gases Efecto Invernadero en un 20% al 2030.

La planeación del territorio que se propone en la Línea estratégica 1, establece la definición del Plan Estratégico de Ordenamiento Territorial Metropolitano (PEMOT), herramienta de gestión que definirá los determinantes para el desarrollo urbano de la Región, con conceptos de ciudad compacta, centralidades y densidades que tendrán impactos directos en la movilidad de las personas para el desempeño de sus actividades diarias y a su vez en la calidad del aire.

El Plan Estratégico Metropolitano de Vivienda y Hábitat con Perspectiva Ambiental (PEMVHA), parte de las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial. El PEMVHA permitirá construir consensos con los municipios, la comunidad, y demás actores estratégicos del territorio, en relación con la vivienda, posibilitando la concertación de una Política Pública Habitacional Metropolitana, en armonía con la política nacional y local en cada municipio del Valle de Aburrá.

Entre otros aspectos, el PEMVHA servirá para Identificar los problemas de vivienda y hábitat relacionados con: la cantidad y condición de las viviendas; los lugares donde se construye y construirán en el futuro; las necesidades de los habitantes en cuanto al tamaño, el precio, la ubicación; el impacto en el medio ambiente; los recursos y proyectos con que cuentan los municipios para dar soluciones; la participación de la comunidad y la conformación del Sistema Habitacional Metropolitano.

En la línea 6. Comunicación Pública y Movilización Social, se enmarca la dinamización de la participación ciudadana en el ámbito metropolitano, que está relacionada con el trabajo articulado y participativo que se viene realizando con los diferentes sectores para la actualización del Plan de Descontaminación del Aire y del Pacto por la calidad del Aire del Valle de Aburrá.



Figura 95. Líneas estratégicas Plan de Gestión 2016-2019

Fuente: (AMVA, 2016).

Durante este cuatrienio también se propone definir la Alianza Regional por la Sostenibilidad que incluirá el Pacto por la Calidad del Aire, como una reafirmación del compromiso de los firmantes para actuar de manera conjunta en pro de mejorar las condiciones del recurso.

Política Pública de Construcción Sostenible

Una de las principales funciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá es la determinación de Hechos Metropolitanos, definidos como aquellos fenómenos económicos, sociales, tecnológicos, ambientales, físicos, culturales, territoriales, políticos o administrativos, que afecten o impacten simultáneamente a dos o más de los municipios que la conforman. En reconocimiento de que los procesos relacionados con la actividad constructiva cumplen con estas características, el Acuerdo Metropolitano 05 de 2014 declaró la construcción sostenible como Hecho Metropolitano y estableció como meta la formulación de una Política de Construcción Sostenible para el Valle de Aburrá⁵⁷.

El proceso de formulación de la Política se desarrolló entre septiembre de 2014 y septiembre de 2015, en asocio con la Universidad Pontificia Bolivariana y contó con la valiosa colaboración de diversas instituciones que han participado activamente, mediante el suministro directo de información, la atención de entrevistas y la asistencia a mesas y foros de discusión, como: las Secretarías de Planeación Municipal de los municipios adscritos; las Curadurías Urbanas; la Cámara Colombiana de la Construcción

⁵⁷ <http://www.metropol.gov.co/ConstruccionSostenible/Pages/inicio.aspx>



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Seccional Antioquia (Camacol, Antioquia); el Centro Nacional de Producción más Limpia (CNPML); la Empresa de Desarrollo Urbano (EDU); la Empresa de Vivienda de Antioquia (VIVA); el Instituto Social de Vivienda y Hábitat de Medellín (ISVIMED); las Empresas Públicas de Medellín (EPM); la Corporación Financiera Internacional (IFC), la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá; el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, e instituciones educativas de educación superior como la Universidad San Buenaventura, el Politécnico Jaime Isaza Cadavid, la Universidad de Antioquia y Universidad Nacional Sede Medellín.

El documento consta de tres partes, a saber: 1) una línea base que identifica las problemáticas, oportunidades y restricciones relacionadas con la planeación, construcción, operación, mantenimiento y del ambiente en el Valle de Aburrá, 2) una revisión extensa del marco jurídico, donde se identifican, describen y relacionan entre sí los lineamientos legales que fundamentan el planteamiento de la Política y 3) un documento de planeación estratégica que contiene los principios conceptuales y metodológicos, los objetivos e instrumentos de Política.

Programa de episodios críticos

El Plan Operacional para enfrentar Episodios Críticos de contaminación del aire (POECA), tiene el propósito primordial de proteger la salud de la población frente a situaciones de contaminación atmosférica que excedan los umbrales o niveles de contaminación y tiempos establecidos. El POECA establece además medidas extraordinarias que buscan reducir los niveles de emisión aplicables en tanto dura el episodio de contaminación del aire. La aplicación del POECA en el 2016 y 2017, ha tenido además un efecto de concientización de un alto impacto frente a autoridades, sectores y ciudadanía, convirtiéndose en un instrumento que impulsa al establecimiento e implementación de medidas de fondo, que prevengan y eviten episodios, como las que se proponen en el PIGECA 2017-2030.

La Resolución 2381 de 2015 establece en su capítulo III (Medidas en Caso de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica) las medidas que se tomarán según los niveles de alerta naranja, roja o emergencia y se aplicarán conforme a lo establecido en el Protocolo del Plan Operacional para enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá.

En el marco de la Resolución 2381 de 2015 se establece el Grupo de Gestión de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica, denominado GECA, conformado al interior del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y será responsable de la evaluación de la información para la declaratoria de un episodio de contaminación. El GECA estará conformado por un líder (subdirector ambiental), un equipo coordinador y un equipo asesor. El equipo coordinador estará integrado por representantes de los programas de Gestión Ambiental, Gestión del Riesgo, Control y Vigilancia, y la Subdirección de Movilidad.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá aprobó y adoptó mediante el Acuerdo Metropolitano N. ° 15 (noviembre 28 de 2016), el Protocolo del Plan Operacional para enfrentar episodios críticos de contaminación atmosférica, POECA que contendrá lo que se observa a continuación (ver Figura 96).



Figura 96. Contenido del POECA

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2016).

A lo largo de este capítulo se han explorado las principales acciones realizadas a la fecha para hacer frente al problema de contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá. Este análisis ha permitido identificar importantes avances técnicos e institucionales que han resultado en la comprensión del problema, la mitigación del deterioro y el involucramiento de actores clave en la búsqueda de soluciones de mayor alcance. El análisis ha permitido también valorar las tendencias negativas que requieren ser contenidas y, más allá revertidas, a través de los diversos aspectos que configuran la problemática, incluyendo la dinámica de las fuerzas motrices, emisiones contaminantes, calidad del aire, impactos y las respuestas que se han dado hasta ahora. Con base en todo lo anterior, en el siguiente capítulo se presentan los objetivos, metas y líneas estratégicas que configuran la acción de gran alcance representada por el Plan de Gestión Integral de la Calidad del Aire 2017 – 2030 (PIGECA).

6 OBJETIVOS, METAS Y EJES ESTRATÉGICOS

Este capítulo plantea el marco estratégico del Programa Integral de Gestión de la Calidad del Aire 2017-2030, incluyendo una descripción de objetivos, metas, ejes y líneas de acción. El punto de partida para la formulación de este marco ha sido el análisis del contexto mundial de la problemática de la contaminación del aire (Capítulo 1) y una evaluación integral de la problemática de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá (Capítulos 2 al 5). En dicha evaluación, se han analizado las relaciones sistémicas y causales que existen entre: a) los principales factores que influyen sobre la generación de contaminantes en el Valle de Aburrá; b) la presión que ejercen sobre la atmósfera de dichas emisiones; c) el estado de la calidad del aire resultante; d) el impacto de la calidad del aire sobre la salud, el ambiente, la sociedad y la economía, y e) la respuesta de gobierno, sector privado y sociedad civil ante tales fuerzas motrices, presión, estado e impactos.

Con respecto a la evaluación de las fuerzas motrices que representan las causas de las emisiones a la atmósfera, presentada en el capítulo 2, el PIGECA toma en cuenta que entre los factores que determinan la generación de emisiones en el Valle de Aburrá se encuentran: a) el acelerado crecimiento de la población registrado en las últimas décadas; b) los patrones de ocupación territorial que han propiciado una alta densificación de las laderas con asentamientos humanos regulares e irregulares de todos los estratos; c) un acelerado crecimiento del parque vehicular de carros y motos; d) una creciente pérdida de la participación modal del transporte público; e) una baja renovación de vehículos automotores y rezago tecnológico con respecto a otros mercados emergentes; f) un transporte de carga con una alta proporción de vehículos antiguos altamente contaminantes y de baja eficiencia energética, y con importantes deficiencias logísticas y de operación; g) una base industrial intensiva en el uso de combustibles fósiles de alto contenido de carbono; h) un creciente consumo de combustibles fósiles; e) patrones culturales que propician emisiones excesivas (falta de una cultura de mantenimiento vehicular, preferencia por el uso de vehículos motorizados de uso individual, hábitos inadecuados de consumo de energía así como de bienes y servicios).

Con respecto a la generación de contaminantes atmosféricos, la base del análisis presentado también en el capítulo 2, ha sido el Inventario de Emisiones del Valle de Aburrá, el cual es elaborado y actualizado periódicamente por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en convenio con la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). Este Inventario es detallado en fuentes y contaminantes, por lo cual permite identificar y cuantificar los aportes de los principales sectores de generación de contaminantes atmosféricos en el Valle de Aburrá (transporte, industria, servicios y otros), así como su distribución espacial y temporal.

En relación con el estado y las tendencias de la calidad del aire, la evaluación presentada en el Capítulo 3 incluye una caracterización del efecto negativo que tienen sobre la dispersión de los contaminantes la estrecha configuración topográfica de la cuenca atmosférica donde se encuentra el Valle de Aburrá, además de la influencia de los factores meteorológicos de microescala y sinópticos tales como la velocidad y dirección de viento, estabilidad atmosférica, precipitación pluvial, radiación solar, humedad

relativa y presión atmosférica, entre otros. Asimismo, se describen de manera general procesos de química atmosférica que ocurren en el reactor representado por la cuenca del Valle de Aburrá y su influencia sobre la formación de partículas secundarias y oxidantes fotoquímicos. Tomando en cuenta lo anterior, se ha llevado a cabo un análisis del comportamiento histórico y tendencias de la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá, con base en las mediciones registradas por la red de monitoreo atmosférico operada actualmente por el SIATA. Sobre esta base, es claro que los principales problemas de contaminación del aire en el Valle de Aburrá están asociados con altas concentraciones de partículas respirables ($PM_{2.5}$) y, en menor grado, por excedencias a la norma de calidad del aire de ozono. Asimismo, se cuenta con evidencias de que para reducir las concentraciones atmosféricas de $PM_{2.5}$ es necesario incidir tanto en las emisiones directas de este contaminante (partículas de origen primario), como en la formación secundaria de $PM_{2.5}$ en la atmósfera. En este último caso, es necesario reducir emisiones de dióxido de azufre, SO_2 ; óxidos de nitrógeno, NO_x ; y compuestos orgánicos volátiles VOC producidos por el transporte, la industria y los servicios.

Con respecto a los impactos evaluados en el Capítulo 4, éstos dependen entre otros factores de los patrones de exposición asociados con la ubicación y actividad de los receptores y su relación geográfica con los emisores, así como de grupos de riesgo vulnerables (adultos mayores, niños, individuos con condiciones preexistentes, y deportistas, entre otros). Para la evaluación de los efectos atribuibles a la contaminación del aire y sus costos, se ha tomado en cuenta la mejor información disponible a escalas local, nacional e internacional, y se han aplicado metodologías de estimación empleadas ampliamente por autoridades de salud y ambientales de escala internacional. Cabe hacer notar que la información acerca de efectos de la contaminación sobre el ambiente (agricultura, bosques, biodiversidad, etc.) es muy limitada en el Valle de Aburrá, al igual que para el caso de los impactos sobre materiales y propiedades.

Asimismo, la evaluación integral de la problemática de la calidad del aire incluyó también un análisis de las principales acciones (presentadas en el Capítulo 5) que se han implementado en el Valle de Aburrá y a escala nacional, para enfrentar los desafíos asociados con el deterioro de la calidad del aire, tales como planes, políticas, resoluciones, acuerdos y pactos establecidos por las autoridades ambientales y el gobierno nacional.

La evaluación integral realizada evidencia que el combate a la contaminación del aire en el Valle de Aburrá, es una carrera frente al tiempo y el acelerado crecimiento los diversos factores que la propician. De todo ello se desprende la pertinencia no solo de actualizar, sino de rediseñar y ampliar los alcances de los planes anteriores, incorporando tanto acciones previas que se consideran necesarias y eficaces como aquellas medidas que hacen parte del Plan de Gestión del Área Metropolitana 2016-2019 y otros instrumentos complementarios en materia de movilidad sostenible, ordenamiento territorial, construcción sostenible y producción más limpia, entre otros.

En este contexto, este capítulo presenta los objetivos, metas, ejes estratégicos y líneas de acción que conforman el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire 2017-2030 (PIGECA). Además del profundo

análisis de la situación actual y tendencias de la problemática de la contaminación del aire en el Valle de Aburrá y su contexto nacional e internacional descritos en los capítulos 1-5 del PIGECA, el desarrollo del PIGECA se ha nutrido también de las siguientes fuentes principales: a) un amplio proceso de consulta y planeación participativa, en el cual estuvieron involucrados múltiples actores del sector privado, sociedad civil y academia, además de entidades gubernamentales locales, metropolitanas y nacionales (ver Anexo 1: Procesos de Participación en la Elaboración del PIGECA), y b) el marco integral de planeación y operación del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Con respecto a este último aspecto, el **Plan de Gestión 2016-2019 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá: Territorios Integrados**, establece las directrices generales del diseño e implementación del PIGECA asimismo tiene como base fundamental el desarrollo humano integral, y como objetivo superior el desarrollo territorial con equidad. Como se ilustra en la Figura 97, contempla seis líneas de actuación, cuatro de ellas estratégicas, y dos de soporte y apoyo institucional para la gestión:



Figura 97. Plan de Gestión 2016-2019: Territorios Integrados. Líneas estratégicas y líneas de soporte y apoyo institucional para la gestión

Sobre estas directrices y bases de planeación, el propósito del PIGECA 2017-2030 es configurarse como el instrumento que permitareducir significativamente la contaminación del aire en el Valle de Aburrá en una extensión que sea consistente con la magnitud de los desafíos que se han evidenciado a lo largo de este documento, a través de un enfoque integral que incluya:

- Una estrecha articulación y corresponsabilidad entre las distintas entidades del Estado involucradas, en el ámbito de sus competencias;
- intervenciones donde se busque reducir las emisiones contaminantes de todos los sectores de la actividad urbana y productiva relacionados con su generación;

- c) atención tanto a las causas estructurales de los problemas como a los desafíos de los efectos que reclaman atención inmediata;
- d) enfoque principal en los contaminantes atmosféricos de mayor riesgo para la salud (material particulado fracción respirable, sin menoscabo de otros contaminantes atmosféricos);
- e) prioridad en reducción del riesgo y efectos a la salud de los contaminantes atmosféricos, procurando otros beneficios de protección al ambiente, la elevación del bienestar social y desarrollo económico, así como de contribución a las metas metropolitanas y nacionales de mitigación del cambio climático.

Marco de Referencia

En esta sección se describen el proceso y los aspectos claves en los cuales se ha basado el desarrollo del PIGECA. El proceso está basado en el modelo conceptual de gestión de la calidad del aire que se ilustra en la Figura 98.

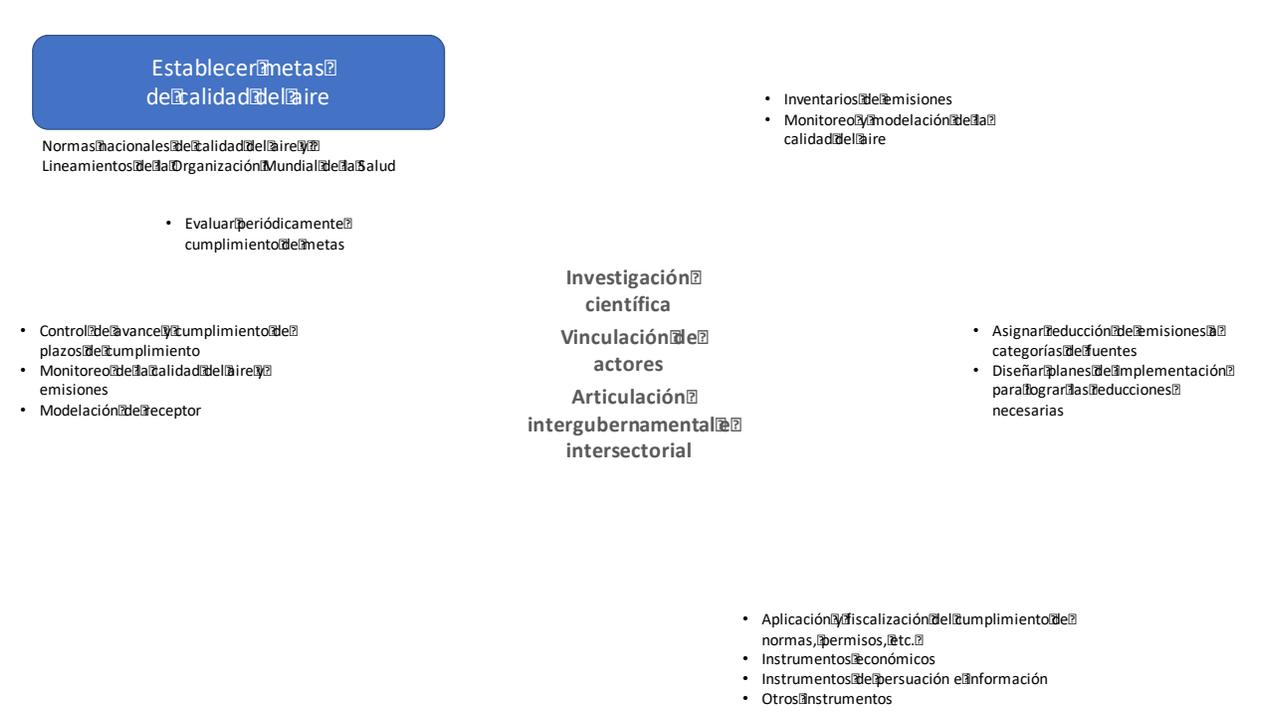


Figura 98. Esquema general de la gestión integral de la calidad del aire

Fuente: Elaborada por Clean Air Institute, a partir de una modificación al modelo conceptual la teoría de la gestión de la calidad del aire planteada en Backmann, 2007.

De acuerdo con el diagrama anterior, el primer paso para la definición del Plan Integral de Gestión de Calidad del Aire consiste en el establecimiento de objetivos y metas. Éstos deben estar basados en las

normas de calidad del aire para protección de la salud y estar direccionados hacia el cumplimiento progresivo de los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud. Consistentemente, las metas del PIGECA se expresan en términos de concentración de contaminantes y tiempos de exposición basados en las directrices de la Organización Mundial de la Salud, así como en las disposiciones establecidas en la Resolución 610 de 2010 . Como se describirá más adelante, el horizonte de planeación de las metas de calidad del aire del PIGECA es el período 2017-2030, con dos puntos de corte extremos (base: 2017 y final: 2030, largo plazo) y tres puntos de corte intermedios (2020, corto plazo; y 2023 y 2027, mediano plazo).

El segundo paso consiste en estimar las reducciones de contaminantes que es necesario alcanzar para lograr el cumplimiento de las metas de calidad del aire establecidas. Para ello, es necesario proyectar el crecimiento que tendrían las emisiones contaminantes en ausencia del Plan y, con base en ello, evaluar la calidad del aire que resultaría a lo largo del período de análisis. Con base en estos resultados, se procede a determinar en qué magnitud tienen que reducirse las emisiones en relación con la línea base para asegurar que se cumplan las metas de calidad del aire.

El tercer paso consiste en identificar oportunidades de reducción de emisiones en dichos sectores (transporte, industria, servicios y otros), así como evaluar el impacto que tendría la implementación de las medidas y acciones aplicables a cada uno de éstos. El proceso de evaluación de las medidas debe involucrar: a) un análisis objetivo del inventario de emisiones y otra información disponible; b) establecimiento de líneas estratégicas para incidir sobre factores de actividad y factores de emisión en cada uno de los sectores identificados; c) identificación de oportunidades y acciones específicas para la reducción de emisiones con la participación de los actores involucrados; d) un riguroso análisis técnico y de implementación; e) un amplio proceso de consulta con actores claves (gobierno, sector privado, academia y sociedad civil), y f) la definición de final de líneas estratégicas, medidas y acciones del Plan.

El siguiente paso consiste en definir los instrumentos de política necesarios para materializar líneas estratégicas, medidas y acciones. Entre estos instrumentos principales se encuentran: a) resoluciones, normas y otras regulaciones; b) instrumentos económicos (incentivos, sobretasas, tarifas, exenciones arancelarias, impuestos y tasas retributivas entre otros), y c) instrumentos de información y persuasión (registros e informes públicos, sellos y etiquetas ambientales, reconocimientos a la responsabilidad empresarial y civil, etc.). El establecimiento de mecanismos efectivos de vigilancia y fiscalización es clave para el éxito del Plan. Todo ello puede ser enmarcado en un pacto social amplio, que selle compromisos y voluntades para el logro del objetivo común de mejorar la calidad del aire y con ello proteger la salud de los habitantes.

Finalmente, es necesario establecer un mecanismo de seguimiento y evaluación coordinado por la autoridad ambiental que incluya: a) un marco de avances y resultados de las medidas y acciones comprometidas; b) un seguimiento puntual coordinado por la autoridad ambiental; c) procesos de rendición de cuentas y la publicación de informes periódicos de seguimiento; d) una amplia



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



participación de los actores involucrados, y e) acceso público a la información y participación corresponsable de la sociedad civil.

En este proceso, la verificación del cumplimiento de las metas es un elemento fundamental para evaluar el desempeño del plan y futuras actualizaciones que pueden incluir; en caso necesario, metas más estrictas dirigidas al cumplimiento de estándares nacionales de calidad del aire y de los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud.

Objetivos

Objetivo general

El Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire 2017-2030 (PIGECA) tiene como objetivo mejorar progresivamente la calidad del aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para salvaguardar la salud pública y proteger el ambiente, así como para elevar el bienestar social y propiciar un desarrollo metropolitano sostenible.

Hacia el logro de este objetivo, el PIGECA establece las bases para el diálogo y la articulación entre los órdenes de gobierno (nacional, departamental y municipal), entidades del sector privado, organizaciones de la sociedad civil, la academia y la ciudadanía en general, que conlleven a una exitosa implementación participativa y corresponsable de políticas, programas y proyectos de corto, mediano y largo plazo, a través de esfuerzos colaborativos multisectoriales y multidisciplinarios.

Teniendo en cuenta que los objetivos y el Plan en sí, van dirigidos a las diferentes escalas de gobierno, al sector privado y a la organización civil, etc., se sugiere que el Plan revise y plantee metas y líneas de acción en los diferentes niveles antes descritos, con el fin de facilitar la aplicabilidad del plan y poder medir de manera más eficaz en los diferentes periodos propuestos (cortes de periodos administrativos). Lo anterior se menciona debido a que la solución está direccionada a todos los niveles de la población organizada, la comunidad en general y el gobierno.

Objetivos específicos

1. Fomentar el desarrollo y aprovechamiento del conocimiento científico como base para la comprensión y entendimiento de la problemática de la contaminación del aire, así como para el desarrollo e implementación de estrategias efectivas y de alto impacto para enfrentarla; en particular, fortalecer el acceso de toda la población a información oportuna, confiable y comprensible sobre la calidad del aire, además de sus causas y efectos.

2. Complementar, dirigir, fortalecer y articular los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial, profundizando criterios aplicables a todos los sectores de la economía que aceleren el tránsito hacia un desarrollo compacto, sostenible y de bajas emisiones, el cual sea propicio para ampliar el acceso de todos los habitantes del Valle de Aburrá a la ciudad metropolitana.
3. Mejorar, transformando el sistema de movilidad urbana hacia modos sostenibles; elevando la calidad, cobertura y eficiencia del sistema de transporte urbano; y modernizando el parque vehicular con tecnologías y energéticos, que satisfagan los estándares de emisión establecidos internacionalmente. Esto requiere que se mejore sustancialmente la calidad de los combustibles que se suministran al Valle de Aburrá, teniendo como premisa que esta Region por sus condiciones topográficas necesita que la implementación sea inmediata.
4. Lograr que la bicicleta se consolide como un medio de transporte con alta cobertura, seguro e incluyente, además de que caminar sea la primera y más segura alternativa de desplazamiento en distancias cortas, articulados con los demás modos de transporte, mediante el despliegue de la infraestructura, el mobiliario urbano, las condiciones operacionales necesarias.
5. Impulsar un desarrollo bajo en emisiones de la industria y los servicios, a través del fortalecimiento de la efectividad y alcance de los programas de prevención y control de la contaminación atmosférica, y mejora de la eficiencia energética, elevando el desempeño ambiental, la productividad y la competitividad.
6. Elevar la efectividad y cobertura en el control y sanciones a: a) agentes responsables de la emisión de contaminantes atmosféricos y b) agentes cuyas acciones contravengan las disposiciones establecidas por las autoridades competentes en los instrumentos de planeación y ordenamiento del territorio y otros similares, fortaleciendo además la articulación entre autoridades en distintos órdenes del Estado, especialmente las ambientales; de tránsito y policía; y desarrollo urbano, entre otras.
7. Generar, proteger, recuperar, restituir y cualificar el arbolado y cobertura vegetal urbana y rural, así como el espacio público y los ecosistemas en el entorno de influencia del Valle de Aburrá, apoyados en el conocimiento científico, y en articulación con programas e instituciones que incluyan a todos los órdenes estatales, municipal, metropolitano y regional.
8. Prevenir eficazmente los efectos en la salud de la población por la calidad del aire, atendiendo de forma adecuada, oportuna y eficaz los episodios de contaminación del aire.
9. Reducir la población expuesta a los efectos de los gases contaminantes producidos en buena parte por la circulación de vehículos a motor, fomentando la circulación peatonal y en medios de transporte no contaminantes y establecer, en episodios de contingencia, restricciones de circulación a los vehículos más contaminantes en las zonas más sensibles al alto tráfico, y donde se presenten mayores niveles de contaminación.
10. Establecer un sistema de instrumentos económicos y de persuasión aplicables a agentes, que motiven a individuos y organizaciones a prevenir y reducir emisiones contaminantes, mediante el fomento y estímulo a la utilización de modos de transporte sostenible; la adopción de buenas prácticas, mejora de procesos e instalación de sistemas de control de emisiones, entre otras acciones. Por otra parte, desestimulando y estableciendo sanciones y gravámenes a ciudadanos

y empresas que utilicen medios de transporte de altas emisiones, e industrias que incrementen o superen los límites de contaminación establecidos.

Metas

Metas de calidad del aire

El PIGECA ha sido diseñado para reducir de manera gradual y sostenida las concentraciones de material particulado menor de 2.5 micras- $PM_{2.5}$, menor de 10 micras- PM_{10} y Ozono- O_3 , en relación con las tendencias de crecimiento actuales. Más allá, el PIGECA permitirá también reducciones significativas en otros contaminantes tales como óxidos de nitrógeno, NO_x , dióxidos de azufre, SO_2 , compuestos orgánicos volátiles VOC y carbono negro, BC. Además de los impactos benéficos a la salud de la reducción de NO_x , SO_2 y VOC, su disminución en la atmósfera permitirá también contribuir a la disminución de partículas $PM_{2.5}$ de origen secundario, es decir, generadas en la atmósfera a partir de la reacción química de estos contaminantes. El PIGECA tendrá adicionalmente un impacto importante en la disminución de emisiones de dióxido de carbono, CO_2 , con lo cual contribuirá al logro de las metas nacionales de mitigación de cambio climático establecidas en la ‘Contribución Nacional Determinada de Colombia’. Por otra parte, la disminución de las emisiones de partículas asociadas con la quema de combustibles fósiles permitirá reducir las emisiones de carbono negro (conocido también como hollín) que tiene efectos negativos tanto en la salud como en el cambio climático.

En este contexto, el PIGECA establece metas específicas de concentración para $PM_{2.5}$, PM_{10} y Ozono. Estas metas están definidas de acuerdo con los patrones de comportamiento histórico de dichos contaminantes, los objetivos de protección a la salud y el potencial y alcance de las medidas identificadas, evaluadas y priorizadas en el PIGECA. Las bases y criterios para el establecimiento de las metas de calidad del aire del PIGECA al año 2030 se describen en la siguiente tabla.

Tabla 20. Criterios para la definición de metas de calidad del aire para $PM_{2.5}$, PM_{10} y Ozono

Contaminante	Criterios para la definición de metas de calidad del aire
$PM_{2.5}$	<p>El promedio de la concentración media anual de $PM_{2.5}$, registrada por las estaciones de la red de monitoreo atmosférico del Valle de Aburrá para el año 2016 fue de $33 \mu g/m^3$ (con un mínimo de $24 \mu g/m^3$ y un máximo de $51 \mu g/m^3$). Ese mismo año, el número de excedencias en estaciones poblacionales en períodos de 24 horas fue de 23 y en estaciones de tráfico fue de 93.</p> <p>Tomando como referencia esta base y en consideración de los objetivos intermedios de calidad del aire de la OMS, la meta propuesta es alcanzar una concentración promedio anual de $23 \mu g/m^3$ y un número de</p>

Contaminante	Criterios para la definición de metas de calidad del aire
	excedencias en periodos de 24 horas de 15 para estaciones poblacionales y 56 para estaciones de tráfico a 2030.
PM ₁₀	<p>El promedio de la concentración media anual de PM₁₀, registrada por las estaciones de la red de monitoreo atmosférico del Valle de Aburrá para el año 2016 fue de 55 µg/m³ (con un mínimo de 46 µg/m³ y un máximo de 67 µg/m³). Ese mismo año, el número de excedencias en estaciones poblacionales y de tráfico en periodos de 24 horas fue de 12. Aunque este tipo de partículas tienen niveles inferiores a la norma, es importante mantenerlas controladas y lograr reducciones.</p> <p>Tomando como referencia esta base y en consideración de los objetivos intermedios de calidad del aire de la OMS, la meta propuesta es alcanzar una concentración promedio anual de 45µg/m³ y un número de excedencias en periodos de 24 horas, de 7 a 2030.</p>
Ozono	<p>En 2016 el porcentaje de excedencias de la norma de O₃ en periodos de 8 horas fue de 28% y el promedio anual fue de 96µg/m³.</p> <p>El objetivo propuesto para el PIGECA, de acuerdo con esta base, la meta es lograr un porcentaje de excedencias de 18% en periodos de 8 horas y un nivel de 72µg/m³ promedio anual para el año 2030.</p>

Con base en los análisis realizados para su preparación, el PIGECA plantea también metas intermedias de concentración para los años 2019, 2023, 2027 y 2030, las cuales se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Metas intermedias de concentración para PM_{2.5}, PM₁₀ y Ozono

Tiempo de exposición	PM _{2.5}		PM ₁₀		Ozono	
	Anual	24 horas	Anual	24 horas	8 horas	8 horas
Línea Base	Promedio 33 µg/m ³ , mín 24 µg/m ³ , máx 67 µg/m ³	Número de Excedencias 23	Promedio 55 µg/m ³ , mín 46 µg/m ³ , máx 67 µg/m ³	Número de Excedencias 12	Percentil 99 8h: 96	Porcentaje de Excedencia de Norma: 28%
Meta a 2019	36 µg/m ³	21	58 µg/m ³	10	92 µg/m ³	26%
Meta a 2023	31 µg/m ³	19	53 µg/m ³	9	85 µg/m ³	23%
Meta a 2027	26 µg/m ³	17	48 µg/m ³	8	78 µg/m ³	20%
Meta a 2030	23 µg/m ³	15	45 µg/m ³	7	72 µg/m ³	18%

En la Figura 99, la Figura 100 y la Figura 101, que se presentan a continuación, se ilustra la trayectoria esperada de las concentraciones de PM_{2.5}, PM₁₀ y Ozono que podrían alcanzarse como resultado del Plan, las cuales configuran la base para establecer las metas anteriores.

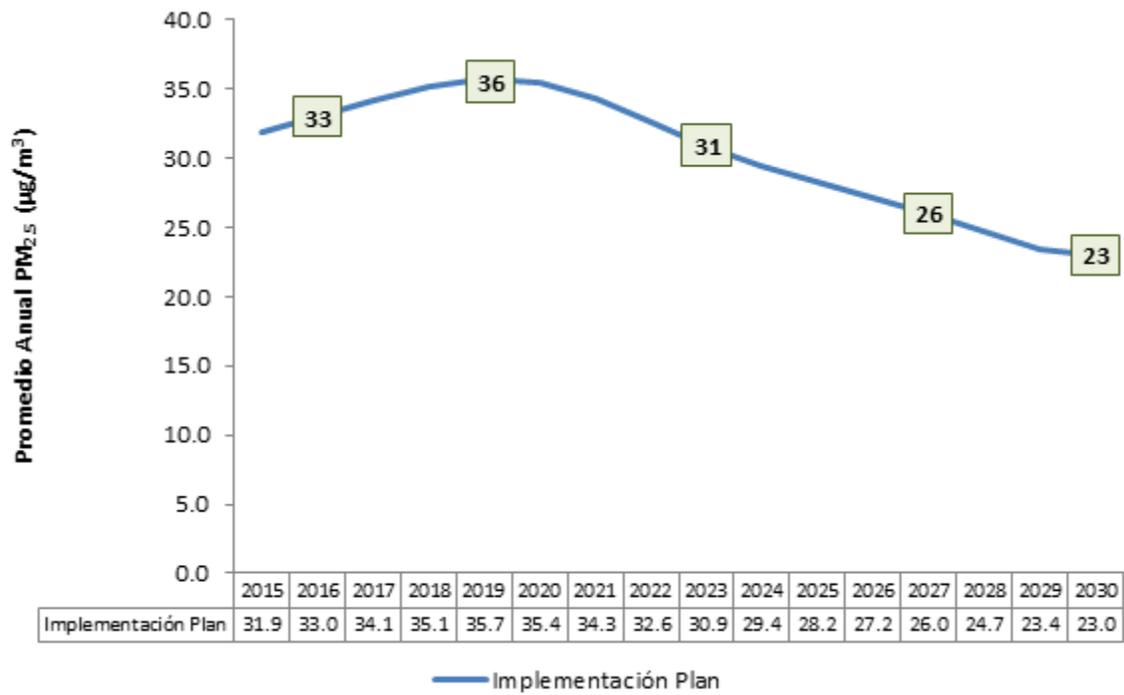


Figura 99. Metas de concentración de PM_{2.5} en la implementación del PIGECA

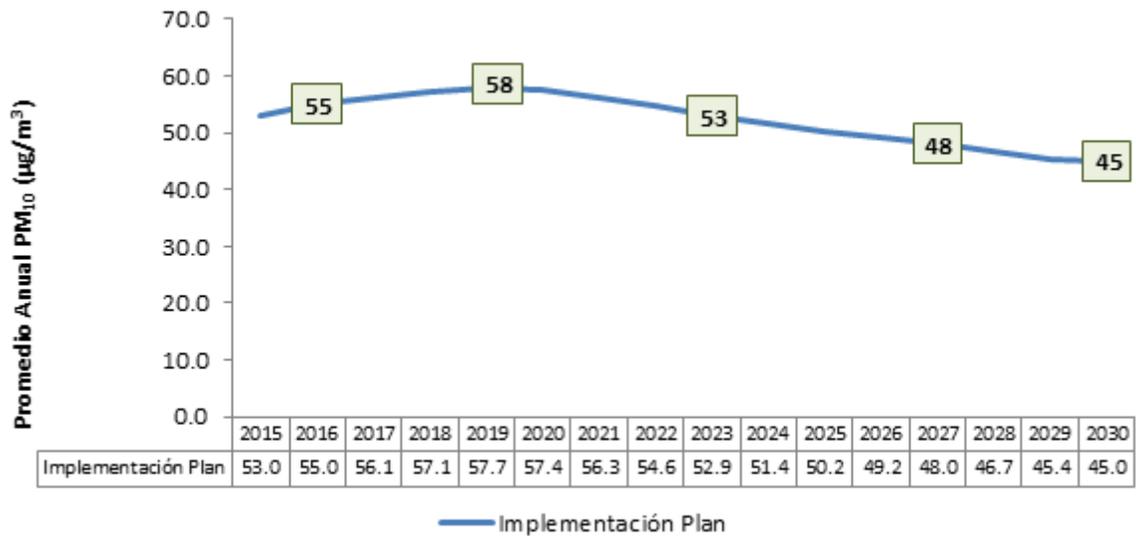


Figura 100. Metas de concentración de PM₁₀ en la implementación del PIGECA

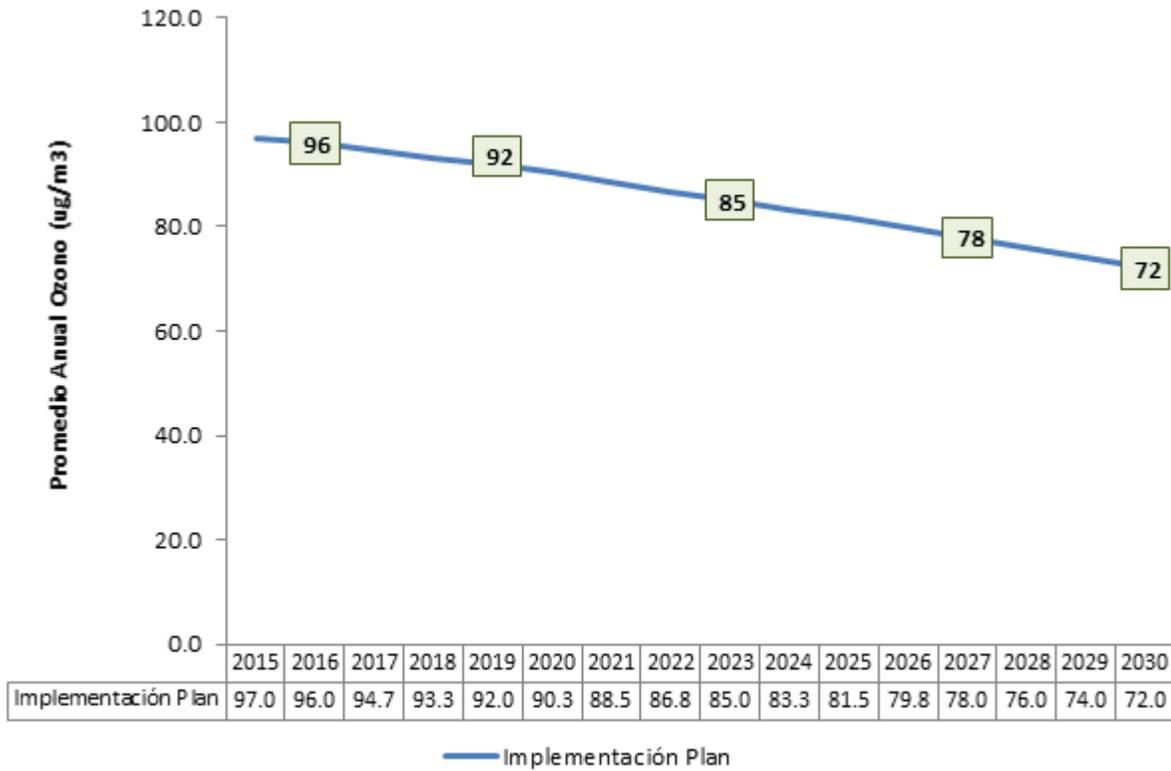


Figura 101. Metas de concentración de Ozono en la implementación del PIGECA

Metas de reducción de emisiones

La Figura 102 ilustra las metas de reducción de emisiones de $PM_{2.5}$ que son necesarias alcanzar para el cumplimiento de las metas de calidad del aire relativas a este contaminante, que han sido propuestas en el PIGECA 2017-2030. Estas metas de reducción de emisiones han sido obtenidas como resultado de una serie de simulaciones de calidad del aire y emisiones, conforme a lo que se describe en detalle en el Capítulo 7.



Figura 102. Metas de reducción de emisiones de PM_{2.5}. PIGECA 2017-2030

De acuerdo con las estimaciones, para alcanzar las metas de calidad del aire propuestas en el PIGECA, se requiere reducir progresivamente las emisiones generadas por el transporte, la industria y los servicios hasta llegar a 916 toneladas al año de PM_{2.5} en el 2030, como se aprecia en la gráfica anterior. Este nivel de emisiones representa una reducción del 49% frente a las emisiones del año base 2015.

En la Tabla 22 se presentan las metas de reducción para los años de implementación del plan. Para el año 2019, se espera que el PIGECA reduzca en un 12% las emisiones de partículas frente a la línea base.

Tabla 22. Metas de reducción de emisiones de PM_{2.5} por la implementación del PIGECA (2016 – 2030) (toneladas frente a la línea base)

ESCENARIO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Emisiones BAU	1,823	2,002	2,201	2,402	2,626	2,866	3,126	3,376	3,620	3,860	4,121	4,413	4,735	5,081	5,458	5,857
Emisiones Plan	1,823	2,002	2,125	2,235	2,301	2,265	2,139	1,963	1,779	1,617	1,484	1,367	1,242	1,097	963	915
Reducciones Fuentes Móviles	0	0	73	127	246	481	826	1,210	1,595	1,951	2,298	2,661	3,059	3,498	3,955	4,347
Reducciones Fuentes Fijas	0	0	4	40	79	119	160	203	246	292	338	385	435	486	540	595
Reducción Total	0	0	77	167	325	600	986	1,413	1,841	2,243	2,636	3,046	3,494	3,984	4,495	4,942

Estructura del PIGECA

Para el logro de los objetivos y las metas planteadas, el PIGECA ha sido estructurado alrededor de 5 ejes transversales y 10 ejes temáticos. A su vez, cada pilar y eje estratégico, están integrados por una serie de líneas de acción. La Figura 103 ilustra los pilares y ejes estratégicos del PIGECA.

Ejes temáticos:



Figura 103. Estructura del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire 2017-2030

Los pilares del PIGECA son los ejes transversales de carácter estructural que son relevantes para todo el plan. Los ejes transversales atraviesan en forma longitudinal y horizontal todos los componentes del Plan, de tal manera que en torno a ellos se articulan las acciones. Los grandes ejes transversales establecidos por el PIGECA son los siguientes:

- Diálogo, articulación interinstitucional e intersectorial y corresponsabilidad.
- Pedagogía, educación, cultura ciudadana.
- Comunicación pública.
- Fortalecimiento del marco regulatorio.
- Seguimiento y evaluación.

Por otro lado, a continuación se mencionan los 10 ejes estratégicos del PIGECA:

- Fortalecimiento, generación y aprovechamiento del conocimiento científico y la tecnología.
- Planeación y ordenamiento territorial con criterios de sostenibilidad.

- Reducir el impacto ambiental de los viajes motorizados y promover un modelo de movilidad más eficiente.
- Transformación hacia una movilidad eficiente y de bajas emisiones.
- Industria y servicios, competitivos y de bajas emisiones.
- Incremento de espacios verdes y arbolado urbano y protección de ecosistemas regionales.
- Efectividad y cobertura en el control y sanciones a agentes contaminantes.
- Atención oportuna y eficaz a episodios críticos de contaminación del aire.
- Protección y transformación de zonas sensibles a la contaminación.
- Sistema de cargas y beneficios a agentes en función de su aporte positivo o negativo a la calidad del aire.

Ejes Transversales del PIGECA

A continuación, se describen los transversales del PIGECA; éstos cruzan horizontal y verticalmente todas las dimensiones del plan, por su carácter estructural. En ese sentido, se configuran como los ejes estructurantes que garantizan la sostenibilidad y el seguimiento a las acciones. Dado lo anterior se debe propender porque esa transversalidad garantice el enfoque de la participación, las sinergias y el diálogo entre todos los actores y sectores, de tal modo que los asuntos transversales permeen todas las medidas en todas las líneas estratégicas del plan.

Eje Transversal 1: Diálogo, articulación interinstitucional e intersectorial y corresponsabilidad

Este eje transversal está enfocado a la generación de espacios de diálogo y actuación permanente entre los actores, para articular sus diferentes perspectivas del territorio y posibilitar las sinergias necesarias para la implementación y seguimiento del PIGECA; contribuyendo además en la construcción de una verdadera gobernanza territorial.

La actual institucionalidad necesita para ello, de los aprendizajes sociales y la corresponsabilidad entre cada uno de los actores que hacen parte de la sociedad. Tal y como lo plantea la FAO (2015) “la gobernanza ha venido a instaurar una perspectiva innovadora en el proceso de toma de decisiones que se contrapone a los modelos jerárquicos de gobierno tradicional, en los que los Estados ejercían el poder sin aprovechar el potencial de participación activa y comprometida de la sociedad” (pg. 2).

La gobernanza territorial se refiere a la capacidad de las sociedades de resolver colectivamente sus problemas y contribuir al desarrollo de sus territorios mediante la articulación y participación de diversos actores territoriales, entre ellos 1) el Estado, 2) la ciudadanía, 3) el sector público localizado territorialmente, 4) el sector privado, 5) la academia y 6) el sector financiero (primer y segundo piso), en un contexto en el cual, la institucionalidad está enfocada en las oportunidades de los territorios, a partir de una propuesta que parta, no solo del crecimiento económico, sino también, de la inclusión social y la sostenibilidad ambiental (con base en propuesta de la FAO, 2015 y ONU, 2015).



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Así mismo lo plantea el actual Plan de Gestión 2016 – 2019 Territorios integrados, el cual aboga por la importancia que tiene recrear formas alternativas de gobernanza, para asegurar que la toma de decisiones sea participativa y esté suficientemente informada, buscando nuevas formas de participación, codecisión y renegociación de competencias, y responsabilidades en las políticas y estrategias que sean planteadas por la entidad, implicando a todos los actores de su territorio.

Siendo así el diálogo, la articulación interinstitucional e intersectorial y la corresponsabilidad serán parte fundamental de las medidas aquí formuladas, permitiendo avanzar hacia una gestión efectiva, con mayor legitimación y compromiso social. De esta forma la participación ciudadana será determinante, tal y como lo sugiere Wilches-Chaux:

La participación ciudadana puede ser activa y tener como objetivo asumir plena y conscientemente la función que le corresponde como parte del proceso, lo cual quiere decir al mismo tiempo apoderarse, apropiarse y empoderarse de ese proceso. Es decir, acceder a la toma de decisión en sus diferentes etapas, no necesariamente de manera exclusiva y excluyente; sino a través de un permanente diálogo de imaginarios, de saberes y de ignorancias, entre todos los actores sociales, institucionales y no gubernamentales que intervienen en él. La participación así entendida y ejercida, les introduce a los procesos una dinámica “orgánica” que constituye la base de la sostenibilidad de los mismos (2006, pg. 60).

Esta mirada la refuerzan los planteamientos de Molina (2014), al subrayar en su propuesta que “un proceso de negociación en el que se concreten mesas o grupos y en el que participen tanto las iniciativas públicas como las privadas” (pg. 39), será necesaria para el ejercicio de una buena gobernanza contemplando “la transparencia, el acceso a la información, la adaptación, el respeto por los derechos humanos y por la naturaleza, la responsabilidad y la aplicación de normas para regular el cumplimiento” (Molina, 2014, pg.39).

Finalmente, valdría la pena subrayar el papel central que debe tener la academia como actor clave en la gestión integral de la calidad del aire, por su conocimiento, capacidad técnica, bagaje investigativo y accionar en el ámbito educativo. Su vinculación activa será determinante para avanzar en nuestros compromisos.

En especial, a través de este Eje Transversal, se plantea:

- a) Mantener activa la Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Prevención y Control de la Contaminación del Aire (CONAIRE), establecida mediante el decreto 2972 de 2010, la cual tiene como objeto asegurar la coordinación intersectorial a nivel público de las políticas, planes y programas de carácter nacional para prevenir y controlar la contaminación del aire.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



- b) Diseñar, acordar e implementar una estrategia de articulación, diálogo y vinculación interinstitucional y de actores clave para la implementación del PIGECA, utilizando en forma sistemática y coordinada los diversos mecanismos con los que para este fin cuentan el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia, Cornare, el Gobierno Departamental, los Gobiernos Municipales y otras instancias, tomando como base al PIGECA.

Eje transversal 2: Pedagogía, educación, cultura ciudadana

Este eje transversal apunta al fortalecimiento del proceso pedagógico, de educación y cultura ciudadana que realizan el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y otras instituciones para desarrollar la visión sistémica de medio ambiente que promulga la política nacional como instrumento y que, para el caso de la gestión de calidad del aire, representa una herramienta fundamental a la hora de forjar cambios contundentes y a largo plazo por medio de las acciones propuestas fruto del dialogo con los actores del territorio, acorde con la Política Nacional de Educación Ambiental de 2002. La Ley 115 de 1994, define a la educación como “un proceso de formación permanente, personal, cultural y social que se fundamenta en una concepción integral de la persona humana, de su dignidad, de sus derechos y de sus deberes”, es por ello, que resulta ser el elemento más importante en la transformación de los hábitos de las personas que habitan un determinado territorio.

La educación se concibe como una práctica social, como un proceso que implica la responsabilidad de todos, con lo cual repercute en todos los actores (Roldán, 2000). Como experiencia de diálogo en el campo pedagógico no debe terminar en una información, debe llevar a los distintos agentes educativos a la reflexión que juzga esa realidad a la luz de lo que es el hombre y el mundo, a fin de generar acciones coherentes con esa concepción y capacidad de transformar el accionar en la familia, el aula, la escuela, y el entorno.

Su objetivo general es el de proporcionar un marco conceptual y metodológico básico, que desde la visión sistémica del ambiente y la formación integral de los seres humanos, oriente las acciones que en materia de educación ambiental se adelanten en el país, en los sectores formal, no formal e informal. Esto, en el marco de los propósitos del sector ambiental, educativo y en general de la dinámica del SINA, buscando el fortalecimiento de los procesos participativos, la instalación de capacidades técnicas y la consolidación de la institucionalización y de la proyección de la educación ambiental, hacia horizontes de construcción de región y de una cultura ética y responsable en el manejo sostenible del ambiente. La Política Nacional de Educación Ambiental (2002) concibe a la educación ambiental como[...] un proceso que le permite al individuo comprender las relaciones de interdependencia con su entorno, con base en el conocimiento reflexivo y crítico de su realidad biofísica, social, política, económica y cultural, para que, a partir de la apropiación de la realidad concreta, se pueda generar en él y en su comunidad, actitudes de valoración y respeto por el ambiente. Lo anterior dicho en palabras de Capra, como “[...] ejercicio de transformación fundamental de nuestros pensamientos, de nuestras percepciones y de nuestros valores”. Para ello, “la realidad debe estudiarse bajo una óptica basada en el entendimiento de

las relaciones y reciprocidades esenciales de los fenómenos físicos, biológicos, sociales, culturales y psicológicos” (Capra, 1998, pg. 23).

Es así que se hace necesario la construcción de un escenario pedagógico y educativo que aporte en la generación de cultura ciudadana, a partir de una visión sistémica del ambiente y del carácter integrador de lo ambiental, lo cual según Torres Carrasco (2007) parte de la investigación siendo un componente básico de la educación ambiental, ya que desencadena la reflexión crítica y da lugar a los cambios que se requieren en los procesos formativos.

En la Política Nacional de Educación Ambiental (2002) se valora la investigación como un componente esencial de la educación ambiental, toda vez “que ella permite la reflexión permanente y necesaria para la interpretación de la realidad y posibilita el diálogo interdisciplinario que desde la complejidad de los sistemas ambientales se requiere” La investigación en el escenario de la educación ambiental se enfoca al reconocimiento y comprensión del ambiente mediante la exploración y el redescubrimiento del contexto, lo cual permite que en el contacto con la realidad, las personas descubran los problemas ambientales de su territorio e identifiquen soluciones para los mismos.

Como parte de este eje transversal, se requiere

- Diseñar e implementar de un programa de fortalecimiento de cultura ciudadana en pro de la calidad del aire, basada en la divulgación proactiva del monitoreo atmosférico y la promoción del involucramiento de la población en acciones del plan de descontaminación.
- Incorporar en los procesos de educación tanto formal como no formal e informal el tema de la calidad del aire. Por ejemplo, es necesario los proyectos ambientales escolares desarrollados en las instituciones educativas incorporen el tema de la problemática de la calidad del aire al quehacer de dicha institución, así como el Proceda, (Proyecto Ciudadano de Educación Ambiental), que busca gestionar y realizar acciones que contribuyan a la resolución de problemas y al fortalecimiento de potencialidades ambientales.
- Incorporar las consideraciones de calidad del aire en las agendas de los comités interinstitucionales de educación ambiental municipal (CIDEAM), los cuales son escenarios interinstitucionales e intersectoriales, donde se unifican esfuerzos técnicos, financieros y de proyección para promover y fortalecer los procesos de educación ambiental en los municipios.
- Incorporar en cada uno de los Ejes Temáticos del PIGECA actividades de diálogo y participación activa de los actores del territorio, incluyendo una puesta pedagógica y educativa, tal y como la contempla la Política nacional de educación ambiental, “sin información y formación de calidad no puede haber participación eficaz” (Wilches-Chaux, 2006, pg. 60).
- Promover investigación en el marco de la educación ambiental como un proceso de producción de conocimiento desatado desde las lecturas ambientales y educativas de cara a una realidad revestida de significado. La reflexión crítica es necesaria para la interpretación de la problemática ambiental y la profundización en el conocimiento de contextos locales e imprescindible para la apropiación o transformación de la realidad. La investigación así concebida coadyuva a la construcción de una visión integradora y de proyección a la resolución de problemas, en tanto objetivo de la educación ambiental como proceso formativo.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Eje transversal 3: Comunicación pública

Este eje transversal consiste en el establecimiento de mecanismos específicos para consultar, informar y recibir retroalimentación por parte de los actores involucrados, audiencias específicas y el público, acerca del PIGECA y políticas, estrategias, estándares, regulaciones y otra información relacionada con la gestión integral de la calidad del aire en el Valle de Aburrá, conforme a lo establecido en el CONPES 3344 DE 2005 y otras disposiciones aplicables.

Bajo liderazgo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, como parte de este eje transversal se llevarán a cabo las siguientes acciones:

- a) Fortalecer la difusión oportuna de la información sobre la calidad del aire, incluyendo datos en tiempo real y análisis sobre comportamiento histórico y tendencias.
- b) Definir e implementar una estrategia integral de información vinculada a los procesos de educación ambiental, con actividades específicas educativas que puedan respaldar las medidas técnicas de prevención y control que sean desarrolladas por la autoridad ambiental. Ello incluye la facilitación de instrumentos informativos y educativos para el público en general y también para diversos actores que tienen injerencia en el problema de la calidad del aire.
- c) Desarrollar e implementar un programa de comunicación de la calidad del aire y temas relacionados dirigidos a ejercer un efectivo liderazgo comunitario que convoque a todas las fuerzas a comprometerse con la problemática y su solución.

Eje transversal 4: Marco integral de políticas

Como se ha mencionado en la Sección 5.1, Colombia cuenta con una amplia trayectoria en materia de legislación, regulación y política de calidad del aire y otros temas relacionados. No obstante, existen importantes oportunidades de actualización y ampliación del marco regulatorio, incluyendo tanto las normas nacionales de calidad del aire como límites de emisión y metodologías de verificación del cumplimiento aplicables al transporte, la industria, y otras fuentes. Asimismo los instrumentos económicos y de información disponibles para fines de la gestión de la calidad del aire, la promoción de tecnologías limpias, autocontrol y cambio de hábitos y comportamientos, también requieren ser fortalecidos y actualizados.

Con base en lo anterior, este eje transversal está enfocado a las tres áreas principales siguientes:

- a) Acordar con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y otras autoridades competentes en materia de normatividad de emisiones, calidad del aire y temas relacionados, un programa de desarrollo y actualización que incluya, desde una perspectiva integral la revisión,

fortalecimiento y ampliación del marco normativo vigente. Entre los principales instrumentos regulatorios y legislativos que requieren ser actualizados y establecidos en el corto plazo para avanzar en el cumplimiento de objetivos, metas y estrategias del PIGECA se encuentran:

- i. la Resolución 909 de 2008 que establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas;
 - ii. la Resolución 910 de 2008 que reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes móviles terrestres (para todo tipo de vehículos nuevos y en circulación);
 - iii. la Ley 1205 de 2008 por medio de la cual se mejora la calidad de vida a través de la calidad del diésel y se dictan otras disposiciones;
 - iv. la Resolución 610 de 2010 que ajusta las normas nacionales de calidad del aire para contaminantes criterio.
 - v. nuevas normas para cubrir sectores que actualmente no están suficientemente regulados incluyendo diversos sectores identificados como fuentes de área y,
 - vi. pruebas y procedimientos para la inspección de emisiones vehiculares realizadas por los centros de diagnóstico automotor mediante la medición de gases de escape.
- b) Establecer e implementar, por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, un conjunto de resoluciones de rigor subsidiario que permitan fortalecer la prevención y control de las emisiones generadas, a través de los instrumentos aplicables a cada uno de los ejes temáticos del PIGECA según corresponda:
- i. en el transporte,
 - ii. la industria y los servicios
 - iii. otras fuentes generadoras de contaminación del aire y
 - iv. los procesos de planificación y ordenamiento territorial.
- c) Asimismo, es necesario fortalecer el marco de instrumentos económicos aplicables a cada uno de los sectores de interés, así como de información y persuasión para la gestión integral de la calidad del aire. Por una parte, será necesario trabajar en el desarrollo y/o fortalecimiento de instrumentos fiscales, que **sancionen** a quienes contaminen por encima de los límites permisibles, tales como impuestos, sobretasas, tarifas, cargos; y que **beneficien** a quienes se esfuercen por mejorar su estándar de emisión, tales como incentivos tributarios, gestión con la banca, reducción de aranceles a importación de nuevas tecnologías; los cuales funcionarán para orientarla actuación de los actores en el Valle de Aburrá hacia prácticas de movilidad, producción y consumo de bajas emisiones, así como al uso y desarrollo de fuentes de energía más limpias, y a prácticas de eficiencia energética en el transporte, la industria, los servicios y los hogares. Por otro lado, se requiere además:
- i. fortalecer los instrumentos propios de la planeación y ordenamiento territorial (considerando opciones tales como pago de servicios ambientales y eco-certificación para la protección y gestión de zonas rurales; y por otro lado permisos comerciables, plusvalía, certificados de potencial de construcción adicional como instrumentos para una ciudad compacta y desarrollo orientado al transporte);

- ii. implementar instrumentos persuasión e información, tales como registros de emisiones de acceso público, informes de desempeño ambiental, esquemas de reconocimiento al buen desempeño, sellos y etiquetas ambientales y
 - iii. otros instrumentos
- d) Elaborar por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá en la medida de lo posible en articulación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y otros interesados, los estudios y proyectos necesarios para la actualización y desarrollo del marco normativo e instrumentos económicos y de información conforme a lo señalado en los incisos a, b y c.

Eje transversal 5: Seguimiento y evaluación del PIGECA

Este eje transversal es parte fundamental para lograr la efectiva implementación del PIGECA, mediante el establecimiento de los mecanismos de seguimiento y evaluación para el cumplimiento del objetivo del mismo. Para ello, cada medida cuenta con una serie de indicadores cualitativos y cuantitativos y un calendario de implementación que permitirán mediar los resultados en el corto, mediano y largo plazo.

El seguimiento del plan debe llevarse a cabo de forma continua a través de la evaluación del estado de la implementación de las acciones propuestas para cada medida. Una vez se lleve a cabo dicha evaluación, se debe analizar la evolución de cada indicador, el cual debe ser positivo en el tiempo. Asimismo, esta evaluación debe permitir establecer y corregir los desafíos que enfrenta la implementación de cada una de las medidas temáticas del PIGECA, aprobando de ser posible objetivos intermedios a partir de los resultados obtenidos que permitan llegar a la meta planteada para cada medida.

Para la implementación del mecanismo de seguimiento y evaluación se debe referir al Anexo 2.

Líneas de acción de los ejes temáticos

A continuación se presenta una visión panorámica de las líneas de acción comprendidas en cada uno de los ejes temáticos del PIGECA, mientras que una descripción más detallada de éstas se encuentra en los formatos incluidos en el Anexo 2.

Eje Temático 1: Fortalecimiento, generación y aprovechamiento del conocimiento científico y de la tecnología

Mientras que la ciencia es esencial para la comprensión de la realidad, la tecnología combina ciencia e ingenio para diseñar y crear soluciones a los problemas que enfrenta la sociedad, e innovar medios y modos para satisfacer las necesidades esenciales y los deseos de la humanidad. Tecnología y ciencia se refuerzan mutuamente, permitiendo ahorrar tiempo y dinero para expandir la educación, desarrollar

innovación y propiciar mejores condiciones de vida. En este sentido, ciencia y tecnología son esenciales para el logro de los objetivos y metas del PIGECA.

Líneas de acción	
A1	<p>Diseño e implementación de un Sistema Integrado de Vigilancia Epidemiológica</p> <p>Dado que la salud es el centro de la problemática, se requiere una recolección sistemática y permanente de datos de salud, su análisis, su interpretación y correlación con la calidad del aire para la planeación, implementación y evaluación de estrategias de prevención en salud y disminución de la contaminación atmosférica.</p> <p>El diseño e implementación de un sistema integrado comprenderá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de investigaciones enfocadas al fortalecimiento de las bases científicas acerca de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud en el contexto de la protección de la salud de los habitantes del Valle de Aburrá, en complemento al amplio acervo de conocimiento internacional en la materia. • Implementación de herramientas y acceso a sistemas de información para la valoración de los efectos en salud en el Área Metropolitana en diferentes escalas. • Actualización continua de los datos de morbilidad y mortalidad y su correlación con la calidad del aire en el Valle de Aburrá. • Seguimiento de indicadores, metodologías e investigaciones a diferentes escalas (regional, nacional e internacional) en salud y su relación con la calidad del aire. • Diseño de un marco de indicadores de los efectos en salud asociados a la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá: Se construirá a partir de los diferentes sistemas de información en Salud Pública y los indicadores nacionales para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Dicho marco tendrá el propósito de facilitar el seguimiento y evaluación de eventos en salud y determinantes (agudos y crónicos) y sus determinantes. Incluyendo la recopilación sistemática de información y el desarrollo e implementación de herramientas para el análisis de episodios críticos.
A2	<p>Fortalecimiento de la agenda de investigación científica y escenarios de intercambio de experiencias.</p> <p>Con el objetivo de continuar ampliando el conocimiento sobre la problemática de calidad del aire, se considera como temas prioritarios los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejora continua de la identificación y caracterización de fuentes de contaminación atmosférica. • Comprensión continua de los procesos de dispersión, transporte, transformación y precipitación de los contaminantes atmosféricos. • Evaluación constante de los efectos y costos de la contaminación atmosférica y del cambio climático en el entorno natural, la agricultura, los bosques, la biodiversidad, materiales y salud.

Líneas de acción	
	<ul style="list-style-type: none"> • Innovación y aplicación de soluciones para acelerar el tránsito hacia un desarrollo bajo en emisiones o cero emisiones. • Propiciar encuentros y espacios de intercambios de conocimiento con actores locales, nacionales e internacionales. • Implementación de herramientas y acceso a sistemas de información para la valoración de dichos efectos en el caso específico del Área Metropolitana. • Otras que en su momento se consideren prioritarias en el fortalecimiento del conocimiento.
A3	<p>Mejora continua de la red de monitoreo, pronóstico y alertas de la calidad del aire</p> <p>Incluirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revisión y en su caso, ajuste de los objetivos del programa de monitoreo de la calidad del aire establecidos en el Valle de Aburrá y verificación periódica de su cumplimiento. • Evaluación de las estaciones con respecto a los objetivos del monitoreo incluyendo la ubicación, los contaminantes medidos actualmente y la adición de nuevos parámetros. • Realización de mejoras en la red sobre la base de los resultados de las acciones anteriores. • Fortalecimiento del sistema de calidad que garantice la precisión de los datos de la red de monitoreo de calidad del aire. • Centralización de todos los procesos de revisión, verificación y validación de datos de calidad del aire y preparación de procedimientos asociados y proporcionar datos acerca de las concentraciones de contaminantes en tiempo real, así como el acceso permanente a la base de datos original. • Desarrollo de herramientas de procesamiento de información, pronóstico de la calidad del aire y modelación a escalas local y regional. • Implementación de auditorías externas de la red de monitoreo y los datos generados para verificar la consistencia entre los objetivos, las actividades y la operación de la red.
A4	<p>Mejora continua del inventario de emisiones</p> <p>Incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimiento de la caracterización de compuestos orgánicos volátiles tanto en el transporte como en la industria, los servicios y otras fuentes dispersas. • Validación con información levantada en campo tanto de factores de emisión como de factores de actividad. • Incorporación de la información generada por el proyecto de sistemas de monitoreo continuo en marcha, para la generación de factores de emisión medidos aplicables a la industria en el Valle de Aburrá, basados en las condiciones reales de operación, así como de los combustibles y mezclas de éstos utilizados en el sector industrial.

Líneas de acción	
	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora continua y actualización de bases de datos de todos los sectores de relevancia, para aumentar la precisión y comparabilidad de los inventarios a través de los años. • Integración de los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes de vida (carbono negro, metano y HFC). • Otras acciones que se consideren relevantes.
A5	<p>Política de Ciudad-Metrópoli Inteligente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de una Política de Ciudad-Metrópoli Inteligente en el Valle de Aburrá con el liderazgo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y de los municipios, incluye las siguientes acciones: <ol style="list-style-type: none"> a) Integración de un grupo de trabajo con participantes del sector público, privado y sociedad civil, con un liderazgo dinámico, que identifique y priorice problemas que deben atenderse en el contexto de la gestión integral de la calidad del aire. b) Desarrollar y acordar un marco estratégico en el cual comulguen los sectores público y privado, la academia, la sociedad civil y los negocios, incluyendo: <ol style="list-style-type: none"> i. Identificación y formulación de casos de negocios que brinden sostenibilidad a las inversiones, considerando la creación de valor económico, social y ambiental que sería de interés para desarrolladores de tecnología y centros de investigación, entre otros. ii. Generación de datos abiertos y fomentar innovación para generar soluciones compartidas. iii. Diseño de soluciones desde abajo hacia arriba, rompiendo grandes problemas en partes más pequeñas. iv. Establecer metas de avance gradual tomando en cuenta costos y beneficios de las tecnologías de inteligencia de datos. v. Vinculación a la dirección política para comunicar la necesidad de nuevas tecnologías y aliviar las inquietudes de la población sobre temas como seguridad, privacidad y presupuestos. vi. Educación a la población para comprender la nueva tecnología y desarrollar sus capacidades para utilizarla y explotar sus beneficios. vii. Comunicación de avances y resultados de los desarrollos de las ciudades inteligentes para fomentar el desarrollo de redes y fomentar el intercambio de experiencias.
A6	<p>Fortalecimiento del acceso público a información</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimiento de la implementación de las disposiciones sobre acceso público a la información en los aspectos relativos a la calidad del aire y especialmente con respecto al PIGECA, conforme a lo establecido en la Ley N. ° 1712 de 2014 y otras políticas y lineamientos aplicables. Esta línea estratégica será implementada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá con base en la información recopilada por la Unidad de Seguimiento y Evaluación del PIGECA, a partir de los informes de cada una

Líneas de acción	
	de las acciones comprometidas.
A7	<p>Fomento a iniciativas y procesos de cocreación local y/o nacional</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fomento a iniciativas y procesos de cocreación para impulsar la innovación y crear iniciativas conjuntas para generar soluciones de alto impacto en materia de calidad del aire y ciudades sostenibles e inteligentes. Entre otras actividades a ser promovidas por el Área Metropolitana y otros actores involucrados, se encuentran: <ul style="list-style-type: none"> ○ Continuación del proyecto de ciudadanos científicos, que ha permitido poner en manos de los ciudadanos, una herramienta que aporte al monitoreo en casa y en tiempo real de variables meteorológicas. ○ Desarrollo de otras iniciativas de cocreación que incentiven el interés y la iniciativa de empresarios y ciudadanos, para desarrollar proyectos innovadores y de alto impacto que redunden en la mejora de la calidad del aire.
A8	<p>Establecimiento e implementación de un sistema integral de gestión integral de la calidad del aire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de una estructura institucional al interior del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, que articule la integración de un sistema integral de gestión de calidad del aire, incluyendo las tareas correspondientes a la implementación, seguimiento y evaluación del PIGECA, además de las que le corresponden por sus competencias, consistente con los lineamientos realizados en el Eje Transversal 1. Ello incluye aspectos relativos al fortalecimiento de capacidades y plataforma de conocimientos en aspectos gerenciales, científicos, financieros, educativos y comunicacionales, entre otros. En particular habrán de llevarse a cabo las siguientes acciones: <ul style="list-style-type: none"> ○ Implementar y fortalecer programas de formación continua en temas estratégicos y especializados de la gestión integral de la calidad del aire. ○ Fortalecer los programas de transferencia de conocimiento al interior del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y entre instituciones. ○ Alinear procesos y funciones con la estructura de personal y los recursos necesarios.

Eje Temático 2: Planeación y Ordenamiento Territorial con criterios de sostenibilidad

En este eje está considerada la incorporación de lineamientos relativos a la calidad del aire y temas relacionados en los diferentes planes de ordenamiento, incluyendo: a) Plan Estratégico Metropolitano de Ordenamiento Territorial (PEMOT), en desarrollo bajo la conducción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá; b) los planes municipales: Plan de Ordenamiento Territorial (POT), Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) y Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT); c) departamental: Plan de Ordenamiento Departamental (POD); d) los esquemas asociativos y demás figuras incluyendo los Planes de Manejo y Ordenamiento de la Cuenca; e) los Planes de manejo de áreas protegidas y f) otros instrumentos similares aplicables. Estos instrumentos de planificación del territorio deberán acoger, en

la escala de competencias y jurisdicción, lo aplicable en materia de ordenamiento territorial y la calidad del aire.

Líneas de acción	
B1	<p>Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire</p> <p>Ello está dirigido a propiciar una ciudad compacta, dinámica, policéntrica y equitativa, incluyendo lineamientos en el Plan Estratégico Metropolitano de Ordenamiento Territorial - PEMOT (que por Ley debe liderar el Area Metropolitana del Valle de Aburra y que actualmente construye con todos los actores de la Región con un horizonte de tiempo al año 2030) y los aplicables en los diferentes instrumentos de planificación y ordenamiento territorial, para la mitigación de los impactos de las actividades que se realizan en áreas urbanas y rurales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de una evaluación de las prácticas actuales de planificación y ordenamiento territorial, y su efecto sobre la motorización y la generación de impactos sobre la calidad del aire por el transporte, la industria y los servicios como base para la identificación de oportunidades de mejora. • Revisión y ajuste de los lineamientos de zonificación que describen lote por lote los tipos de desarrollo que se permitirán dentro de sus límites, con criterios de calidad del aire y recomendaciones de funcionarios, expertos en planificación, desarrolladores y otras partes interesadas. • Implementación de los códigos de zonificación revisados a través de los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial apropiados para prevenir o mitigar los impactos potenciales de la contaminación del aire, exigiendo que el desarrollo comercial o industrial nuevo o en expansión sea compatible con los usos de la tierra adyacente y no suponga un peligro para el medio ambiente y la salud de la población circundante. Bajo una ordenanza de zonificación, el desarrollo debe cumplir con estándares de desempeño como: tamaño mínimo de lote, altura máxima del edificio, distancia mínima entre edificios, estándares de emisión, evaluación de impacto urbano y vial, así como una lista de usos permisibles. • Establecimiento de requerimientos, para que las empresas y las flotas de vehículos cumplan con las condiciones que reducirán las emisiones como parte de las licencias que ya otorga la autoridad ambiental. Estos requisitos pueden incluir restricciones sobre horas de operación, normas y códigos de construcción, distancias entre propiedad y propiedad de negocios y la calle u otras estructuras, restricciones de ralentí del vehículo o desvío de tráfico, además de criterios de evaluación e incentivos fiscales con base en localización de los desarrollos en zonas compactas de uso del suelo mixto, distancia a corredores de transporte público y no motorizado (transporte activo), lineamientos zonificados de requerimiento y gestión de cupos de parqueo público y privado y características del acceso peatonal y en bicicleta. • Definición de requerimientos que pueden desencadenar una evaluación ambiental

Líneas de acción	
	<p>bajo las leyes nacionales, departamentales, metropolitanas y municipales, para determinar posibles impactos acumulativos de la calidad del aire, si, entre otras cosas, se expone a la población (especialmente escuelas, guarderías, hospitales, Instalaciones de convalecencia y residencias) a concentraciones sustanciales de contaminantes".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incorporación en los lineamientos de uso del suelo de las intervenciones aplicables a áreas fuentes de contaminación acorde con la clasificación establecida en la legislación colombiana (Decreto 979 de 2006) (Áreas Fuentes de Contaminación marginal, moderada, media y alta).
B2	<p>Incorporación en el PEMOT de lineamientos para una planeación integral del uso del suelo y el transporte dirigida a favorecer una movilidad sostenible en el Valle de Aburrá</p> <p>Para ello, se incorporarán medidas específicas que aseguren el logro de este objetivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de una Política de Desarrollo Orientado al Transporte, incluyendo los lineamientos específicos a ser incluidos en los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial aplicables. • Definición de instrumentos para implementar la Política, considerando entre otros, aquellos que fomenten usos del suelo mixto, además de instrumentos de captación de valor y el desarrollo y aprovechamiento de corredores de transporte público masivo y transporte público colectivo. • Establecimiento e implementación de lineamientos e instrumentos para propiciar la estructuración de los modelos territoriales metropolitanos y municipales que induzcan a la articulación y acceso al transporte en bicicleta, caminar y evitar viajes. • Identificación de centros y corredores urbanos que por sus características e infraestructura, sean candidatos prioritarios para la implementación de proyectos de desarrollo orientado al transporte, incluyendo la incorporación de las disposiciones correspondientes en los planes de ordenamiento aplicables.
B3	<p>Articulación de los Planes de Ordenamiento Territorial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conformación de un grupo de trabajo para armonizar, ordenar y articular las disposiciones e instrumentos de planificación municipales, a partir de visiones compartidas de desarrollo y ordenamiento, que procuren el desarrollo sostenible y propicien la cohesión territorial guiados por objetivos comunes de desarrollo y un modelo de ordenamiento acordado.
B4	<p>Planificación para una movilidad activa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de lineamientos para propiciar la estructuración de los modelos territoriales metropolitanos y municipales que induzcan a la inserción de los modos de transporte peatonal y en bicicleta, articulados con las políticas de movilidad activa y de transporte de bajas emisiones en el Valle de Aburrá. • En particular definición de lineamientos de planificación y ordenamiento territorial dirigidos a mejorar las condiciones de caminabilidad y de desarrollo e integración de la red de infraestructura para bicicletas.
B5	<p>Construcción sostenible y ecoeficiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimiento e implementación de la Política Pública Metropolitana de

Líneas de acción	
	<p>Construcción Sostenible en relación con el desarrollo territorial, usos del suelo mixtos, criterios de localización, infraestructura para mejorar las condiciones de caminabilidad y de desarrollo e integración de la red de infraestructura para bicicletas, así como acceso mejorado al transporte público y políticas de parqueo para desincentivar el uso del automóvil.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementación de los requerimientos de ecoeficiencia para reducir consumo de energía y evitar emisiones contaminantes en nuevos desarrollos habitacionales, comerciales, industriales y de servicios.
B6	<p>Incorporación de una estrategia integral de mejora logística en la planeación territorial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo e incorporación de lineamientos de zonificación y desarrollo de infraestructura específicos para optimizar los procesos y operaciones asociados con la cadena de suministro y distribución de mercancías en el Valle de Aburrá, incluyendo centros logísticos, criterios de localización de centros comerciales, distribuidores mayoristas y minoristas, y otras actividades del proceso logístico, así como articulación con la planificación del transporte para la definición de rutas logísticas preferenciales.

Eje temático 3: Reducir el impacto ambiental de los viajes motorizados y promover un modelo de movilidad más eficiente

Conforme a los análisis presentados en el Capítulo 2 donde se discute el inventario de emisiones del Valle de Aburrá, el transporte motorizado es la principal fuente de generación de emisiones contaminantes atmosféricas en la región. A ello contribuyen tanto la intensidad de sus actividades relacionada con el desplazamiento de pasajeros y carga, como el estado actual de la tecnología automotriz de carros, motos, buses y camiones, y los combustibles fósiles utilizados para ponerlos en funcionamiento. Para reducir emisiones en el sector transporte, es necesario poner en práctica una combinación de estrategias que pueden agruparse en las siguientes seis ventanas principales: a) mejora tecnológica y de la calidad de los combustibles, b) expansión del transporte público masivo, c) desarrollo y promoción de modos de transporte activo (caminar y usar la bicicleta), d) gestión de la demanda de transporte, e) planeación integrada del uso del suelo y el transporte, y f) gestión integral del transporte de carga.

Líneas de acción	
C1	<p>Mejora de la calidad de diésel y gasolina</p> <p>Para el suministro de gasolina y diésel, de ultra bajo contenido de azufre (indispensable para la introducción de vehículos con estándar EURO VI/6 con sistemas avanzados de control de emisiones) se prevén las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración conjunta de un proyecto de Resolución Nacional (y su consecuente establecimiento e implementación) sobre especificaciones de calidad de combustibles

Líneas de acción	
	<p>de uso vehicular, con aportes técnicos y financieros del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y otros interesados. Entre otros aspectos, el proyecto deberá incorporar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Introducción acelerada de diésel y gasolina con un contenido máximo de azufre de 10ppm a partir del año 2020, sincronizada con la introducción de estándares Euro 6/VI y, en su caso posteriores, para los vehículos ligeros, medianos y pesados que se comercializan en Colombia. b. Establecimiento de otras especificaciones relevantes aplicables a la formación de diésel y gasolina, con base en la Carta Mundial de Combustibles⁵⁸ Categoría 4 (y, en su caso, las que se establezcan posteriormente). <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento e implementación de una Resolución Metropolitana que obligue a los proveedores de combustible que operan en el Valle de Aburrá, el suministro de diésel y gasolina de ultra bajo contenido de azufre para fines de transporte público, una vez que el Gobierno Nacional posibilite el ingreso al mercado de combustibles con esta calidad. • Diseño e implementación de un programa para el control y aseguramiento de la calidad de los combustibles de uso vehicular que se suministran en el Valle de Aburrá, con la participación de la UPME, Ecopetrol y otras autoridades competentes.
C2	<p>Estándares de emisiones más estrictos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración conjunta (y su consecuente establecimiento e implementación) de los siguientes proyectos de Resolución Nacional, con aportes técnicos y financieros del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y otros interesados: <ul style="list-style-type: none"> a. Actualización de los límites de emisión actualmente establecidos por la Resolución 2254 de 2017, teniendo en cuenta criterios de gradualidad, que permitan determinar un calendario acelerado para la comercialización en el país de vehículos nuevos, tanto a gasolina como a diésel, que cumplan con estándares de emisión equivalentes a Euro 6/VI para unidades ligeras, medianas y pesadas, proyectando una meta de inicio en el año 2020. b. Para el caso de las motos, se introducirá la tecnología con emisiones equivalentes a Euro III o EPA TIER II, teniendo presente una meta de inicio en diciembre del año 2020. Dicho calendario deberá estar sincronizado con la disponibilidad de diésel y gasolina de ultra bajo contenido de azufre como se señala en la medida C1. Cabe destacar que los estándares de emisiones propuestos no definen un tipo de combustible o tecnología determinado (diésel, gasolina, eléctrico o gas). Sinebargo, es importante destacar que actualmente están disponibles en el mercado alternativas tecnológicas con base en el uso de gas natural vehicular que permiten cumplir con el estándar EURO 6/VI.

⁵⁸ Worldwide Fuel Chart 2013.

https://www.acea.be/uploads/publications/Worldwide_Fuel_Charter_5ed_2013.pdf

Líneas de acción	
	<ul style="list-style-type: none"> c. Como parte de la resolución anterior, es necesario establecer procedimientos mejorados de verificación de la conformidad, para que las autoridades competentes cuenten con los elementos suficientes que permitan asegurar que en el país solo se comercialicen vehículos nuevos que cumplan con los estándares de emisión establecidos. d. Establecimiento de una etiqueta de emisiones y eficiencia energética para los vehículos que se comercializan en el país (Ejemplo caso de Chile⁵⁹), además de un portal con información dirigida al consumidor (Ver ejemplos de Estados Unidos⁶⁰ y México⁶¹). <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento e implementación de una Resolución Metropolitana que defina lineamientos para la introducción en el Sistema de Transporte Público Colectivo de autobuses que cumplan con estándares Euro 6/VI y flotas de gobierno.
C3/ C4 ⁶²	<p>Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño y ejecución de un programa integral para la expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público que incluya: <ul style="list-style-type: none"> a. Proyectos para mejorar la extensión y cobertura del transporte público en todas sus modalidades. b. Ampliación de la red de transporte público de alta y mediana capacidad, priorizando la inversión y el uso de la infraestructura para modos de transporte masivo. c. Mejoramiento de la velocidad y flujo del transporte público mediante la implementación de carriles preferenciales y exclusivos. d. Desarrollo e implementación de un modelo de integración física y tarifaria que estimule el uso del transporte público. e. Diseñar y ejecutar un plan de reestructuración y racionalización del servicio de transporte público colectivo para optimizar los kilómetros recorridos y reducir emisiones. f. Diseñar y ejecutar un plan de modernización del parque automotor vinculado a las empresas de transporte público colectivo, así como los vehículos de servicio especial para la reducción de la vida útil, incluyendo la introducción de volúmenes crecientes de unidades de bajas emisiones (vehículos a gasolina, diésel y gas

⁵⁹ <http://www.minenergia.cl/ganamostodos/docweb/Manual%20Etiquetado.pdf>

⁶⁰ <https://www.epa.gov/greenvehicles>

⁶¹ <http://www.ecovehiculos.gob.mx/buscamarcamodelo.php>

⁶² La nomenclatura de esta medida (C3/C4) se debe a que, en sus inicios en el año 2016, se corrieron diferentes modelos para analizar el impacto y evaluación de las medidas propuestas, sin embargo, dados los diferentes aportes recibidos, retroalimentaciones y cambios en el documento se acordó unificar el tema de “Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público” en una sola medida con el fin de no alterar las modelaciones ya adelantadas en el momento.

Líneas de acción	
	natural que cumplan con EURO VI/6) y de cero emisiones (eléctricos).
C5	<p>Políticas para reducir el impacto ambiental por parte del parque automotor de motocicletas</p> <p>Actualizar la reglamentación que establece los niveles máximos permisibles de emisiones para las motocicletas que se comercializan en el Valle de Aburrá y el resto del país.</p>
C6	<p>Políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de una Resolución Metropolitana para lograr ⁶³ la modernización de la flota de carga, incluyendo: <ol style="list-style-type: none"> a. Disposiciones que deben cumplir los vehículos de carga que circulan en el Valle de Aburrá y mecanismos para verificar su cumplimiento (por ejemplo, edad de los vehículos, cumplimiento de la inspección técnica mecánica, cumplimiento de la regulación aplicable para vehículos en circulación, emisiones, etc.). b. Requerimiento a los generadores de carga (empresas de construcción, canteras y otros usuarios) para que incorporen en sus contratos límites específicos de emisiones, edad de los vehículos, condiciones de mantenimiento, aplicables a las empresas transportadoras y vehículos que contraten para los servicios de transporte de carga, incluyendo la posibilidad de otorgar un sello o certificado tanto a las empresas contratantes como a los prestadores de servicios. c. Medidas de fomento a la renovación de vehículos de carga (como bonos de chatarrización, disminución de aranceles al ingreso de vehículos nuevos importados, impuestos basados en nivel de emisiones, restricciones de circulación mediante el pico y placa a vehículos con mayores niveles de emisión de contaminantes, restricciones al ingreso y circulación de vehículos con tecnologías contaminantes a zonas específicas de la ciudad, peajes basados en niveles de emisiones contaminantes, etc.). d. Programa de financiamiento para la adquisición de vehículos nuevos de bajas emisiones con tasas preferenciales, vinculado a la chatarrización de unidades antiguas. e. Obligatoriedad de diseñar e implementar programas empresariales de gestión de la flota, incluyendo autorregulación de emisiones, buenas prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo, inspecciones internas para vigilar que no salgan a la circulación vehículos con emisiones visibles, entre otras. f. Otras que se consideren convenientes.
C7	<p>Acciones pedagógicas para generar conciencia y corresponsabilidad sobre la reducción de emisiones de fuentes móviles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar y ejecutar campañas y acciones pedagógicas para concientizar sobre la

⁶³ Esta medida tiene énfasis en el transporte de carga de distribución urbana. No obstante, también incluye el transporte de carga de larga distancia (que tengan como origen o destino al Valle de Aburrá).

Líneas de acción	
	<p>importancia de modernizar la flota vehicular y de atender en forma rigurosa el mantenimiento técnico-mecánico de los vehículos.</p>
C8	<p>Diseño e implementación de un programa de incentivos para la modernización de la flota de automóviles y motocicletas en circulación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración y propuesta al Ministerio de Hacienda y Crédito Público de un proyecto para modificar la estructura del impuesto de vehículo automotor de tal forma que: <ol style="list-style-type: none"> a) Los vehículos de mayor antigüedad y emisiones tengan una tasa impositiva proporcionalmente mayor. Ello aplica a todo tipo de vehículos que circulan en el Valle de Aburrá. b) Exoneración del pago de impuestos de vehículo automotor a vehículos híbridos y eléctricos. • Diseño e implementación de un programa para la sustitución acelerada de las motos de 2 tiempos que aún permanecen en circulación mediante: <ol style="list-style-type: none"> a) Un esquema de chatarrización y bonos para su reemplazo por bicicletas o motocicletas eléctricas. b) La prohibición de nuevas matrículas para motos de 2T en los municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
C9	<p>Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular</p> <p>Para la mejora integral de la inspección de emisiones contaminantes generados por el parque vehicular en el Valle de Aburrá, se tienen contempladas las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de una Resolución Metropolitana que establezca el Programa Integral de Inspección de Emisiones, que tendrá por objeto establecer el calendario y los lineamientos conforme a los cuales, los vehículos automotores de combustión interna matriculados o que circulen en el Valle de Aburrá deberán ser presentados para llevar a cabo pruebas de emisiones contaminantes, para cada año. Esta resolución deberá ser revisada periódicamente. • Elaboración conjunta de proyectos de Resolución Nacional (y su consecuente establecimiento e implementación) con aportes técnicos y financieros del Ministerio de Transporte, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y otros interesados sobre: <ol style="list-style-type: none"> a. Actualización de los requerimientos normativos del programa, incluyendo <ol style="list-style-type: none"> i. Límites de emisión aplicables a los distintos tipos de vehículos que circulan en ciudades colombianas. ii. Métodos de prueba aplicables (reemplazando la prueba estática realizada actualmente por pruebas dinámicas) para la inspección de emisiones. b. Actualización de los lineamientos de diseño, operación y mantenimiento de los centros de diagnóstico automotor, incluyendo: <ol style="list-style-type: none"> i. Infraestructura correspondiente para la implementación de la prueba dinámica en los CDA. ii. Procedimiento de inspección aplicable a distintos tipos de vehículos (nuevos, cambio de placas, vehículos foráneos, vehículos de bajas

Líneas de acción	
	<p>emisiones, etc.).</p> <ul style="list-style-type: none"> iii. Procedimientos de aseguramiento y control de calidad de los resultados de las mediciones, incluyendo calibración de los equipos de medición y seguridad de la transmisión de datos. iv. Desarrollo e implementación de un software único para manejo, seguridad y manejo de datos. v. Cobros por el servicio y aportes a un Fondo Ambiental.
C10	<p>Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de una Resolución Metropolitana para la puesta en marcha de un programa masivo de conducción ecoeficiente dirigido a reducir emisiones, ahorrar combustibles, disminuir costos de mantenimiento, alargar la vida de los vehículos y disminuir el desgaste de frenos y embragues, además de reducir accidentes. Ello implica generar un compromiso desde la alta dirección de empresas e instituciones y las destrezas, conciencia y compromiso de los conductores para cambiar de manera permanente los hábitos de combustión ineficientes y de alta generación de contaminantes que prevalecen en la actualidad, con el fin de brindar a los conductores conocimientos teóricos y prácticos acerca de la conducción eficiente como estilo de conducción, para reducir el consumo de combustible, las emisiones al medio ambiente y además, alargar la vida útil de los vehículos y mejorar la seguridad en la conducción. • Diseñar e implementar un programa masivo de conducción ecoeficiente que incluya, entre otros aspectos: <ol style="list-style-type: none"> 1. Sensibilización a gerentes y responsables de las flotas de transporte público, carga, volquetas y taxis. 2. Formación de capacitadores especializados en adiestramiento en conducción

Líneas de acción	
	<p>ecoeficiente</p> <p>3. Capacitación periódica de conductores.</p> <p>4. Establecimiento de un marco de incentivos que aseguren la continuidad e impacto permanente del programa.</p>
C11	<p>Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de una Resolución Metropolitana que fomente la modernización de la flota con vehículos híbridos y eléctricos, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> a) Acceso preferencial a parqueaderos públicos y privados. b) Incentivos tributarios locales. c) Acceso a zonas de la ciudad de baja emisión y circulación preferencial. d) Exenciones al Pico y Placa y en la implementación del Plan Operacional para enfrentar episodios críticos de contaminación del aire. e) Requerimientos de inspección técnico mecánica vehicular estrictos para vehículos convencionales. f) Exención de la prueba de emisiones contaminantes para vehículos eléctricos. g) Criterios para el desarrollo de la infraestructura necesaria para la inserción de vehículos eléctricos al territorio metropolitano. h) Campañas de información y difusión al público. i) Otros. • Constitución de una Mesa de Trabajo Intersectorial para facilitar el desarrollo de un marco integral de políticas y acciones que favorezcan el despliegue de tecnologías vehiculares híbridas y eléctricas, con la participación de: <ul style="list-style-type: none"> a) Autoridades ambientales de ambiente, transporte y energía a escala nacional, metropolitana y municipal. b) Metro de Medellín. c) Asociaciones de transporte público y taxis. d) Fabricantes y distribuidores de vehículos. e) EPM y otras empresas de suministro de energía eléctrica. f) Otros actores relevantes identificados en el proceso. • Establecimiento de disposiciones metropolitanas y municipales para que empresas de energía (EPM y otras autorizadas), inicien la logística necesaria para la operación y disponibilidad de estaciones de recarga. • Acuerdo para la incorporación de volúmenes crecientes de unidades eléctricas con las empresas y gremios de taxis. • Gestionar ante el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, la definición y aplicación de mecanismos para que la autorización anunciada el 10 de abril de 2017 para la importación de 46 mil vehículos eléctricos, se haga efectiva en los habitantes del Valle de Aburrá.
C12	<p>Requerimiento de instalación de filtros de partículas (FDP) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones</p>

Líneas de acción	
	<p>Las acciones específicas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incorporar el requerimiento de instalación de filtros de partículas (DPF) y otras tecnologías certificadas por organismos reconocidos internacionalmente, como parte de los lineamientos del Programa Integral para la Expansión, Fortalecimiento, Fomento y Modernización del Transporte Público (medida C3/C4) y las Políticas para Reducir el Impacto Ambiental del Transporte de Carga y Volquetas (medida C6). Ello involucra las siguientes acciones: <ul style="list-style-type: none"> a) Identificación de vehículos donde la instalación de filtros y dispositivos, sea viable técnicamente, y conveniente para reducir emisiones (vehículos EURO IV). b) Establecimiento de incentivos para la instalación de dichos dispositivos, como el establecimiento de metas de reducción de emisiones para flotas específicas donde esta opción sea una alternativa para el cumplimiento. c) Desarrollo de un mecanismo de financiamiento que viabilice el programa, incluyendo entre otras opciones requerimientos específicos en los contratos de concesión.
C13	<p>Obras de infraestructura con alto y positivo impacto ambiental y en la movilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actualización del Plan Maestro de Movilidad del Valle de Aburrá, así como los planes e instrumentos municipales, de tal forma que la planeación y ejecución de proyectos de infraestructura de transporte reflejen la Pirámide Invertida de la Movilidad Sostenible y prioricen las intervenciones correspondientes en el siguiente orden: <ul style="list-style-type: none"> a) Peatones b) Ciclistas c) Transporte Público d) Logística y transporte de carga e) Vehículos particulares
C14	<p>Fomento a la renovación del parque vehicular mediante el Pico y Placa Ambiental y las restricciones que se derivan de la implementación del POECA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incorporación a los programas de Pico y Placa, y Pico y Placa Ambiental, de disposiciones para regular la circulación de todo tipo de vehículos en función de sus emisiones, así como estímulos a vehículos de muy bajas emisiones y emisiones cero. Para la adecuada implementación de esta medida se requiere llevar a cabo una mejora integral de la inspección de emisiones que se realiza en los CDA (medida C9), así como su fiscalización eficaz en la vía pública. De tal forma, se prevé lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> a) Establecer un sistema de sellos distintivos e infalsificables o dispositivos de detección automática que permitan identificar a los vehículos (incluyendo carga, transporte público, motos y vehículos particulares), de acuerdo con su nivel de emisiones. b) Establecer restricciones de circulación progresivamente mayores tanto para el Pico y Placa, como para las acciones que se derivan de la implementación del Plan Operacional para enfrentar episodios críticos a los vehículos con emisiones más altas conforme a su estrato tecnológico y los resultados de la prueba de gases a partir del sistema de sellos señalado.

Líneas de acción	
	<p>c) Incentivos a vehículos de combustión interna que cumplan con estándares EURO VI/6 (para vehículos ligeros, medianos y pesados), EURO 3 (para motocicletas), así como a vehículos híbridos y eléctricos. Estos criterios podrán ser revisados periódicamente.</p>
C15	<p>Política de gestión de la demanda</p> <p>Diseñar e implementar una Resolución Metropolitana que establezca una política de gestión de la demanda para el Valle de Aburrá, la cual se entiende como el conjunto de estrategias que permitan mejorar la oferta de servicios a la ciudadanía para optimizar su movilidad, así como las que utilice el sector productivo para procurar que sus empleados elijan opciones que les permitan ser más competitivos y a la vez contribuyan a mejorar las condiciones ambientales del territorio donde viven (teletrabajo, carpooling, vanpooling, horarios escalonados, biciparquederos, entre otros). la cual incluirá un marco estratégico para reducir la generación de viajes, o bien para redistribuirla de manera más eficiente en el espacio o el tiempo, y orientarla hacia el uso de modos de transporte más sostenibles. Esta Resolución complementará y ampliará los alcances de la Resolución 1379 de 2017, e implementará las disposiciones contempladas en la Ley 1753 de 2015, abarcando otros instrumentos de gestión de la demanda como:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Gestión integral de estacionamientos en espacios públicos y privados, estableciendo lineamientos y restricciones por zonas y usos, entre otros aspectos. Restricciones de acceso vehicular a zonas designadas de bajas emisiones. b) Establecimiento de medidas o estrategias que promuevan el uso del transporte público o desplazamiento en vehículos no motorizados. c) Establecer planes de gestión de circulación, incluyendo ajustes al horario y cobertura del Pico y Placa, y Pico y Placa Ambiental vinculando su aplicación con el esquema de sellos/etiquetas de emisiones generados a partir de la inspección técnica de gases referido en la medida C9. d) Cobros por congestión.⁶⁴ y e) Peajes urbanos en sectores donde esta medida favorezca sus condiciones particulares de contaminación y movilidad. f) Desarrollar un modelo tarifario y de nuevas condiciones para el registro inicial de vehículos con motores que usen combustibles fósiles, a implementarse antes de 2030, teniendo en cuenta que hacia ese año se proyecta un número importante de vehículos en circulación, que ya no utilizan combustibles fósiles. g) Subsidios cruzados para fortalecer modos sostenibles de transporte. h) Otros incentivos para fomentar: <ul style="list-style-type: none"> i. Transporte público ii. Transporte escolar

⁶⁴ Para ello deberá tomarse en cuenta el proyecto de Decreto del 2017 “por el cual se adiciona un Título a la Parte 4 del Libro 2 del Decreto 1079 de 2015, en relación los criterios para la determinación de áreas de alta congestión, de alta contaminación, o de infraestructura construida o mejorada para evitar congestión urbana.”

Líneas de acción	
	<ul style="list-style-type: none"> iii. Transporte no motorizado (peatonal y ciclista) iv. Proyectos de desarrollo orientado al transporte v. Programa de auto compartido vi. Desarrollo de infraestructura de internet de alta velocidad vii. Teletrabajo viii. Reuniones virtuales ix. Mejora del acceso a bienes, servicios y trámites vía internet x. Otros i) Establecer medidas y estrategias tendientes a disminuir el uso de combustibles fósiles y promuevan el uso de tecnologías limpias. j) Requisitos estrictos para el otorgamiento de licencias, incluyendo conducción ecoeficiente y segura y fundamentos de mantenimiento, entre otros. k) Medidas para incentivar la reducción de viajes en automóvil y motocicleta en centros comerciales y eventos masivos. l) Programa de movilidad escolar segura y sostenible. m) Medidas para el fortalecimiento de cultura ciudadana a favor de modos sostenibles.
C16	<p>Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá</p> <ul style="list-style-type: none"> • En complemento a la medida C6, diseñar e implementar una Resolución Metropolitana para la gestión integral de la logística del transporte de carga con el objeto de optimizar distancias recorridas, reducir consumo de combustibles y disminuir la congestión y emisiones, mejorando simultáneamente la productividad y eficiencia del sector, así como la calidad del aire. Dentro de las medidas a incorporar en la resolución se encuentran: <ul style="list-style-type: none"> a) Un plan de instalación de centros de consolidación de carga, acorde con las necesidades del Valle de Aburrá con criterios de reducción de emisiones. b) Establecimiento de vías preferenciales, restricciones viales y política zonificada de parqueo para el transporte de carga. c) Planes de cargue y descargue nocturno, así como de agilización de operaciones. d) Plataforma tecnológica para la optimización de la logística del transporte de carga, que aumente la densidad de carga y reduzca viajes en vacío. e) Implementación de vías alternas e instalaciones de descanso en zonas apropiadas para el transporte de paso. f) Establecimiento de una mesa regional de mejora logística y tecnológica del transporte de carga que facilite la operación de un observatorio de carga, el desarrollo de sistemas de información, y la realización de modificaciones legales y acuerdos de cooperación. g) Otras que en su caso se identifiquen. • Diseñar e implementar una Resolución Metropolitana para la gestión integral de la logística del servicio de volquetas transporte de carga con el objeto de optimizar distancias recorridas, reducir consumo de combustibles y disminuir la congestión y emisiones, mejorando simultáneamente la productividad y eficiencia del sector, así

Líneas de acción	
	<p>como la calidad del aire. Dentro de las medidas a incorporar en la resolución se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Regular los horarios de cruce y operación de las volquetas con criterios de reducción de emisiones, evitando su circulación en horas pico. b) Establecer vías preferenciales y corredores, y zonas restringidas para la circulación de volquetas. c) Establecer disposiciones relativas al parque zonificado y facilidades temporales para obras de construcción que eviten aglomeraciones de tránsito, así como agilización de operaciones de cargue y descargue. d) Otras que en su caso se identifiquen.

Eje Temático 4: Transformar el modelo de movilidad hacia la promoción y priorización de modos de transporte activo y de ultra bajas emisiones

La movilidad activa constituye un elemento central del PIGECA, cuya expansión y promoción es esencial para el logro de los objetivos y metas propuestos. Por una parte, el desarrollo de infraestructura peatonal y ciclista, así como su interconexión con el resto de los modos de transporte, es crucial para incidir en la reducción de kilómetros recorridos en vehículos motorizados y lograr un cambio modal en dirección de alternativas de bajas o nulas emisiones. Por otro lado, la planeación adecuada del desarrollo, acceso y promoción de infraestructura para peatones y ciclistas debe formar parte integral de la planeación de ordenamiento territorial, la política de construcción sostenible y la planeación de calles completas, incluyendo estrategias de financiamiento para su materialización exitosa. Para ello, este eje temático incluye consideraciones para atender de una manera amplia las necesidades de todos los usuarios, y se fomenten políticas de crecimiento inteligente para un uso del suelo de alta densidad, mixto y multimodal.

Líneas de acción	
D1	<p>Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Incremento del espacio público peatonal efectivo mediante la construcción de andenes y mejoramiento de los existentes bajo el criterio de accesibilidad universal. b. Desarrollo de programas de intervención de cruces e intersecciones viales para mejorar la seguridad del peatón. c. Promoción de políticas de pacificación del tráfico y reducción de velocidad, especialmente en zonas clasificadas como de baja emisión. d. Incorporación de criterios de desarrollo orientado por el transporte (DOT) en el Plan Estratégico Metropolitano de Ordenamiento Territorial y en los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios del Valle de Aburrá.
D2	<p>Ampliación, conectividad e integración de la red de infraestructura para la bicicleta</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Ampliación de la red de ciclo-infraestructura mediante la construcción de nuevas ciclorrutas y la conexión de las existentes, garantizando integración, intermodalidad y

Líneas de acción	
	<p>conectividad de los diez municipios del Valle de Aburrá.</p> <p>b. Promoción a gran escala y en sitios estratégicos la adecuación, instalación y mayor disponibilidad de lugares seguros para el estacionamiento de bicicletas, con el fin de eliminar barreras al uso de la bicicleta particular como modo de transporte.</p> <p>c. Mejoramiento de la ciclo infraestructura en los barrios de la periferia y de topografía pendiente, para una mayor implementación del uso de la bicicleta.</p>
D3	<p>Mejoras en equipamiento de la ciudad para promover la movilidad activa</p> <p>a. Mejoramiento de señalización, adecuación de estancias, repotenciar elementos básicos del mobiliario como luminarias y bancas garantizando una circulación cómoda y segura de peatones y ciclistas.</p>
D4	<p>Promoción del uso de la bicicleta mediante la disponibilidad de un sistema de bicicletas públicas integrado al SITVA</p> <p>a. Expansión del Sistema de Bicicletas Públicas a los diez municipios del Valle de Aburrá, para brindar a los ciudadanos una opción de movilidad en bicicleta articulada al Sistema Integrado de Transporte Público.</p>
D5	<p>Promoción, educación y cultura de la movilidad activa</p> <p>a. Diseño y ejecución de campañas de sensibilización orientados a transformar los hábitos de movilidad de los habitantes del Valle de Aburrá, desestimulando la movilidad individual y motorizada, y promoviendo la movilidad activa y el uso del transporte público.</p> <p>b. Diseño y ejecución de campañas de cultura ciudadana para la protección del ciclista y el peatón.</p> <p>c. Adopción de Planes de Movilidad Sostenible que permitan a las organizaciones públicas y privadas, reducir los efectos perjudiciales al medio ambiente generados por el viaje de sus colaboradores desde y hacia su lugar de trabajo.</p>
D6	<p>Promoción de acciones orientadas a la regulación del uso del vehículo particular</p> <p>a. Campañas de concientización sobre el uso racional del vehículo particular (carros y motos), con el objetivo de generar conciencia sobre la importancia de la protección de la calidad del aire y los beneficios de la movilidad activa para la salud y el ambiente.</p>

Eje temático 5: Industria y servicios competitiva y de bajas emisiones

Este eje temático está dirigido a fortalecer el marco de políticas, y para asegurar que la industria y los servicios que operan en el Valle de Aburrá reduzcan sus emisiones a través de estrategias tales como mejora de procesos, instalación y optimización de sistemas de control de emisiones, mejora y sustitución de combustibles, control de emisiones evaporativas y fugitivas, sustitución de materias primas, y mejora de su eficiencia energética y operativa, entre otras. El propósito es propiciar una industria y servicios de bajas emisiones que sean al mismo tiempo más productiva y competitiva, en dirección hacia un desarrollo sostenible, de bajas emisiones en estos sectores.

Líneas de acción	
E1	<p>Establecimiento hacia el año 2030, de una política integral de desarrollo de bajas emisiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de una política integral de desarrollo industrial, comercial y de servicios bajo en emisiones para ser implementado a través de una Resolución Metropolitana, incluyendo: <ol style="list-style-type: none"> a) Establecimiento de un sistema de regulación y estímulos para fomentar en el territorio actividades productivas de bajas emisiones, incluyendo normas de emisiones más estrictas tanto para industrias nuevas como existentes, en aquellas zonas que se superen los niveles de contaminación atmosférica, previa realización de estudios que identifiquen polígonos de alta, media y baja emisión. b) Propuestas para la mejora operacional, sustitución de materiales y combustibles dirigidos a la reducción de emisiones. c) Propuestas para la optimización de la cadena de suministro y distribución. d) Esquemas de reconocimiento para el cumplimiento y autorregulación de empresas de bajas emisiones.
E2	<p>Optimización de sistemas de control de emisiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de obligaciones complementarias a la Resolución Metropolitana 912 de 2017 del requerimiento de mejora y sustitución de los sistemas de control existentes en fuentes fijas para reducir emisiones contaminantes. Entre las acciones principales se encuentran: <ol style="list-style-type: none"> a) Evaluación periódica de la eficiencia de los sistemas de control actualmente instalados. b) Requerimientos de mantenimiento preventivo y correctivo de dichos sistemas de control de emisiones, así como de revisión periódica y presentación de informes al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para ser implementados por los responsables de dichas fuentes. c) Identificación e implementación de medidas específicas para aumentar eficiencias en equipos de control, particularmente en el caso de colectores de bolsas. d) Reemplazo de los sistemas de control inoperantes o de eficiencias que no satisfagan los estándares establecidos. • Diseño e implementación de un programa de financiamiento en apoyo a la implementación de estas disposiciones.
E3	<p>Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de disposiciones complementarias a la Resolución 912 de 2017, incluyendo: <ol style="list-style-type: none"> a) Límites de emisión más estrictos para las fuentes fijas acordes con las condiciones del Valle de Aburrá, con énfasis en las emisiones de material particulado. b) Mejora de procesos. c) Auditorías energéticas. d) Instalación de sistemas para lavado del carbón o por adsorción (lavado en seco).

Líneas de acción	
	<ul style="list-style-type: none"> e) Evaluación de la eficiencia de los actuales sistemas de control de emisiones. f) Sistemas de control de emisiones de alta eficiencia para calderas de capacidades nominales iguales o mayores a 500 HP operadas con carbón, residual <i>fuel</i> (N. ° 6), u otros combustibles que lo requieran. g) Tecnologías de cogeneración. h) Cambio a insumos y combustibles menos contaminantes. i) Renovación o reconversión a nuevas tecnologías en Calderas y Hornos. j) Establecimiento de un sistema de registro e informes públicos anuales de emisiones de contaminantes atmosféricos y gases efecto invernadero del sector industrial, para evaluar el cumplimiento de metas. k) Esquema de reconocimiento al cumplimiento mediante sellos ambientales y certificados con base en resultados de reducción de emisiones. l) Otras. <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de un programa integral de prevención control de emisiones contaminantes en los sectores más representativos en las zonas de mayor densidad industrial identificadas en el inventario de emisiones. • Estudio de factibilidad de la implementación de un sistema de tope e intercambio de emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero, ya sea a nivel local o regional, basado en sistemas de monitoreo continuo de emisiones en empresas mayores, tomando en consideración los resultados de las experiencias anteriores de esquemas similares en el Valle de Aburrá.
E4	<p>Mejora del desempeño ambiental y energético de la industria</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementación de las disposiciones establecidas en la Resolución 912 de 2017, de tal forma que las empresas del Valle de Aburrá lleven a cabo las acciones de mejoramiento del desempeño ambiental y energético, como: <ul style="list-style-type: none"> a) Capacitación de sus operadores de equipos de combustión para que obtengan certificación de competencias técnicas. b) Instalación de sistemas automáticos para la alimentación de combustibles sólidos. c) Actividades de mejora continua utilizando como instrumento de apoyo sus bitácoras de operación y mantenimiento, y monitoreo de parámetros de combustión. d) Reporte periódico de sus operaciones de combustión.
E5a	<p>Control de emisiones en procesos de no combustión</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de una Norma de Rigor Subsidiario específica para prevenir y controlar emisiones evaporativas de VOC generadas en diversas fuentes industriales y de servicios, aplicable a operaciones y procesos tales como: limpieza de superficies y maquinaria, formulación y aplicación de pinturas, barnices, tintas, recubrimientos y otros derivados, entre otros. Las disposiciones a incluir consideran: <ul style="list-style-type: none"> a) Establecimiento y aplicación de límites de emisión para las operaciones y procesos mencionados y en su caso, los requerimientos para los sistemas de control de emisiones correspondientes. b) Lineamientos para la aplicación de solventes orgánicos y derivados en

Líneas de acción	
	<p>procesos industriales.</p> <ul style="list-style-type: none"> c) Lineamientos para la sustitución y eliminación de disolventes orgánicos tóxicos y reactivos en los productos relacionados. d) Disposiciones para evitar operaciones de pintura al aire libre. e) Realización de estudios específicos para mejorar el conocimiento acerca de la magnitud y distribución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles generadas por este tipo de actividades, como base para la mejora continua de las regulaciones en la materia. <ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de disposiciones complementarias a la Resolución 912 de 2017 para el control de emisiones de partículas en procesos de no combustión, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> a) Realización de auditorías energéticas y evaluación de emisiones fugitivas. b) Implementación de prácticas de producción más limpia para la reducción de emisiones fugitivas y procesos de no combustión.
E5b	<p>Instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina a lo largo del proceso de almacenamiento, transporte y suministro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de una Norma de Rigor Subsidiario específica que establezca límites de emisión de vapores de gasolina a lo largo del proceso de almacenamiento, transporte y suministro y eficiencia de control de los sistemas de recuperación de vapores. Las emisiones de vapores de gasolina que se generan a lo largo del sistema de almacenamiento, transporte y distribución en el Valle de Aburrá, carecen de sistemas de control. Dichos vapores son tóxicos y además, tienen una alta reactividad en la atmósfera que propicia la formación de ozono y PM_{2.5} secundario. Por ello se requiere la instalación de los siguientes tipos de equipos de recuperación de vapores: <ul style="list-style-type: none"> a) Control de emisiones evaporativas Fase Cero, que consiste en la instalación de techos flotantes en los tanques de almacenamiento de las terminales de distribución de gasolinas ubicadas en el Valle de Aburrá, las cuales son operadas por Ecopetrol y Zeuss. b) Control de emisiones evaporativas Fase 1, incluyendo dispositivos que evitan emisiones generadas en los tanques de almacenamiento de las estaciones de servicio, y la recuperación de vapores a través de sistemas herméticos en los auto-tanques. c) Control de emisiones evaporativas Fase 2, que incluye sistemas herméticos que evitan emisiones evaporativas y permiten la recuperación de vapores en las bombas de servicio de gasolina al tanque de los vehículos. • Diseño e implementación de un mecanismo de financiamiento que facilite la implementación de esta medida.
E6	<p>Restringir la instalación nuevas fuentes fijas en zonas sensibles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de obligaciones complementarias a la Resolución 912 de 2017, incluyendo lineamientos específicos que eviten o restrinjan la instalación de nuevas fuentes fijas en zonas sensibles y la aplicación de límites especiales de emisión más estrictos. Esta restricción aplica a zonas clasificadas como áreas fuentes y zonas de bajas emisiones, fijadas en los instrumentos de planeación y ordenamiento territorial.

Líneas de acción	
	Estas disposiciones se aplicarán en coordinación y complemento con las disposiciones señaladas en la medida B1.
E7	<p>Mejorar proceso de legalización y control de actividades de extracción, manejo y disposición de materiales de construcción</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementación de la Resolución 472 de 2017, mediante la cual se reglamenta el manejo y disposición de residuos de construcción y demolición, se reforzarán las acciones de gestión integral para: <ol style="list-style-type: none"> a) Mejorar la elección de materiales, teniendo en cuenta su impacto según el ciclo de vida, para evitar la generación de contaminantes al aire, entre otros beneficios. b) Reducir la intensidad de uso de materiales que actualmente se requieren en los sistemas constructivos convencionales y que generan emisiones a la atmósfera. c) Minimizar la generación de desperdicios generados en los procesos de construcción actuales. d) Realizar una disposición adecuada de los residuos de construcción evitando emisiones a la atmósfera. e) Gestión integral de residuos de construcción y demolición. f) Mejorar las tecnologías y sistemas de excavación, extracción y explotación de materiales y canteras a cielo abierto. g) Restringir o prohibir la actividad minera de extracción de materiales, en suelos urbanos y de expansión.
E8	<p>Requerimiento de Instalación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones en fuentes fijas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modificación de la Resolución 912 de 2017 para ampliar los requerimientos de instalación de sistemas de monitoreo continuo, en fuentes nuevas y en operación, como parte de los mecanismos para incentivar la prevención y control de la contaminación atmosférica generadas por la industria, así como la mejora de procesos. Ello con base en los resultados del proyecto piloto realizado por el área Metropolitana del Valle de Aburrá en Postobón, Termimoda, Coltejer y Fabricato, así como en estudios de diagnóstico donde se seleccionen y jerarquicen aquellas empresas susceptibles de ser integradas a esta resolución por la representatividad y magnitud de emisiones.
E9	<p>Implementación de Planes Empresariales de Movilidad Sostenible – Planes MES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementación de las disposiciones establecidas en la Resolución 1379 de 2017, para el desarrollo de Planes Empresariales de Movilidad Sostenible – Planes MES, como: <ol style="list-style-type: none"> a) Actividades de capacitación a empresarios y a promotores de movilidad empresarial sostenible, acerca de los beneficios e importancia de implementación de los Planes MES. b) Elaboración periódica de informes acerca del diagnóstico de movilidad y emisiones y el impacto de los Planes MES, mediante la aplicación de las encuestas de movilidad de trabajadores y de evaluación de sitio que

Líneas de acción	
	<p>permitirán dar seguimiento a la aplicación y resultados de los Planes MES.</p> <p>c) Seguimiento del cumplimiento por parte de las empresas del requerimiento de presentar Planes MES, así como los avances y resultados de la implementación de estrategias de movilidad sostenible para la reducción de emisiones e intensidad de viajes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incorporación en la Resolución 1379 de 2017 de las medidas que las empresas y organizaciones, que están sujetas a las disposiciones de los Planes MES, deban acatar cuando se presenten episodios críticos de contaminación atmosférica.

Eje temático 6: Incremento de espacios verdes y arbolado urbano y protección de ecosistemas regionales

Los terrenos urbanos con secciones de suelo total o parcialmente descubierto y expuesto, así como zonas agrícolas, de suelo de conservación y en proceso de urbanización, sufren importantes procesos de erosión que pueden contribuir a deteriorar la calidad del aire en el Valle de Aburrá debido a la generación de emisiones de partículas. Para prevenir estos eventos, es necesario tomar medidas que ayuden a conservar y ampliar las áreas verdes y agrícolas, a contener la expansión urbana y a recuperar los suelos erosionados.

La vegetación desempeña un papel de alta importancia para mejorar la calidad del aire. Los árboles urbanos son cruciales para lograr ciudades sostenibles ya que reducen los impactos de tormentas, crecientes, islas de calor, variabilidad y cambio climático. Reforestar y mantener el arbolado y la cobertura vegetal, evita los procesos de erosión del suelo que dan lugar, entre otros efectos nocivos, a la emisión de partículas finas que afectan a la población poniendo en riesgo su salud. Por otro lado, la vegetación puede ayudar también a la depuración de la atmósfera, protegiendo a la población de la exposición a la contaminación atmosférica; es importante destacar los servicios ecosistémicos del bosque urbano entre los que se encuentran la remoción de contaminantes como el ozono, NO₂, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, además de la captura de carbono y la producción de oxígeno⁶⁵.

La OMS establece como indicador de calidad ambiental urbana el número de árboles por habitante, el cual debe ser como mínimo de 1 árbol por cada 3 habitantes en las grandes ciudades, para tener un aire de mejor calidad. No obstante, es importante hacer una adecuada selección de los árboles utilizados para fines de reforestación, para evitar impactos ambientales y efectos indeseados (como afectación de mantos acuíferos, obstrucción a la infraestructura urbana y la emisión de sustancias que contribuyen a la formación de oxidantes fotoquímicos como el ozono).

Líneas de acción

⁶⁵ Nowak, D., Heisler, G. (2010). *Air Quality Effects of Urban Trees and Parks*. National Recreation and Park Association. USA. 2010.

Líneas de acción	
F1	<p>Protección y ampliación del arbolado urbano</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo y aplicación de instrumentos específicos para implementar las disposiciones del Plan de Gestión Ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para evitar y revertir la pérdida de arbolado urbano y degradación de los suelos, impulsando acciones para: a) reducir las emisiones de material particulado provenientes del suelo desprovisto de vegetación; b) incrementar los servicios ambientales aportados por los árboles urbanos a través del mantenimiento del arbolado actual, la consolidación de las redes ecológicas urbanas, y la incorporación y reposición de nuevos árboles en óptimas condiciones para el entorno urbano; y c) establecer un cinturón verde que contribuya a evitar la expansión de la mancha urbana del Valle de Aburrá.
F2	<p>Espacio público verde, Corredores verdes y Cinturón verde</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo e implementación de proyectos para la conservación, restitución, incremento y sostenibilidad del espacio público verde, tanto en áreas urbanas como rurales, a través de instrumentos de gestión del suelo, abarcando las siguientes acciones: <ol style="list-style-type: none"> a) Mejorar los niveles de eficiencia y eficacia en la ejecución de recursos de obligaciones urbanísticas, y lograr compromisos para que dichos recursos se utilicen en mayor porcentaje a la generación de espacio público verde. b) Ampliar la generación de espacio público verde en general (incluye espacio público y privado) con fines de recreación activa y pasiva de los ciudadanos y de la fauna y flora. c) Desarrollo de iniciativas enfocadas a fortalecer la estructura ecológica principal, como parques en torno a las corrientes de agua que estructuran la ocupación del territorio del Valle de Aburrá. d) Convertir espacios urbanos subutilizados, abandonados o que han cumplido su vida útil, en nuevos parques, instalaciones culturales o terrenos para siembra masiva de árboles. e) Desarrollar un programa de padrinos de zonas verdes para mantener y ampliar zonas verdes existentes. f) Desarrollar proyectos específicos: i) convertir el relleno sanitario de la Curva de Rodas en un parque ambiental, ii) constitución de espacio público verde mediante aportes de zonas verdes y espacios residuales de las empresas asentadas en el Valle de Aburrá. g) Diseñar y proponer otras estrategias en sintonía con los desarrollos para la generación de espacio público verde como conceptos de terrazas verdes, huertas urbanas, etc.
F3	<p>Ampliación del perímetro urbano para efectos ambientales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar viabilidad legal y técnica de la ampliación del perímetro urbano como alternativa para disponer de predios para siembra de arbolado e incrementar índices de espacio público verde. Para ello deberá garantizarse un estricto cumplimiento de estos fines para la ampliación del perímetro urbano que, de otra manera, podría ir en contra de otras políticas ambientales.

Líneas de acción	
	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de índices aplicables a la consolidación de espacio público como: <ol style="list-style-type: none"> a) Índice de espacio público verde efectivo. b) índice de prosperidad urbana. c) Otros índices que apunten a la cualificación del espacio público verde con la finalidad de visualizar un panorama más completo.
F4	<p>Parque Central de Antioquia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementación de la estrategia de gestión y ordenamiento urbano denominada Parque Central de Antioquia (PCA), con la participación de autoridades ambientales y entes territoriales para la gestión, administración y manejo de las áreas protegidas y los ecosistemas estratégicos de carácter local, regional y nacional. La estrategia abarca 50 municipios ubicados en el centro del departamento de Antioquia, los cuales fueron seleccionados por su dinámica urbano-regional, y porque en ellos se encuentra la mayor parte de la población del departamento, que genera conflictos en el uso del suelo y pone en riesgo la sostenibilidad ambiental. Las acciones previstas son las siguientes: <ol style="list-style-type: none"> a) Articulación con el Sistema Departamental de Áreas Protegidas (SIDAP) y al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), para la consecución de metas conjuntas. b) Sugerir lineamientos que orienten la organización y articulación espacial del territorio, su ocupación y su aprovechamiento, a partir de la estrategia de estructuración de las áreas funcionales. c) Reconocimiento de interrelaciones y temas críticos para la región central de Antioquia. d) Consolidación de un sistema de áreas protegidas que posibilite una gestión regional más eficaz, salvaguardar la biodiversidad y los bienes y servicios ambientales necesarios para su sostenibilidad.
F5	<p>BanCO2 Metropolitano</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilización del esquema ofrecido por BanCO2 para brindar apoyo financiero a las acciones de Incremento de espacios verdes y arbolado urbano y protección de ecosistemas regionales, con un enfoque hacia la mejora de la calidad del aire, además de los objetivos generales del programa. Las acciones a emprender se enmarcan en los siguientes aspectos: <ol style="list-style-type: none"> a) Compensar económicamente a familias vinculadas para proteger los espacios verdes (guardianes de los ecosistemas), quienes reciben lo que ciudadanos y empresas pagan por medio del teléfono celular y otros medios electrónicos. b) Diseño e implementación de un proyecto específico vinculado a la implementación del PIGECA, adicional a los programas actuales de BanCO2, enfocado a la restauración y conservación de ecosistemas estratégicos y áreas de importancia ambiental regional, tanto urbana como rural, con impacto sobre la calidad del aire.

Eje temático 7: Efectividad y cobertura en el control y sanciones a agentes contaminantes

Este eje estratégico tiene el propósito de fortalecer de manera integral las herramientas y capacidades para la verificación del cumplimiento de la normativa de emisiones de fuentes fijas y fuentes móviles, así como para la articulación entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, los municipios y el Gobierno Nacional para la gestión integral de la calidad del aire.

Líneas de acción	
G1	<p>Incrementar la capacidad de control de fuentes móviles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimiento de la capacidad técnica del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y de las Secretarías de Movilidad y Tránsito, en el ámbito de sus competencias, para la aplicación y vigilancia del cumplimiento de la normatividad aplicable en materia de emisiones de fuentes móviles, en particular, las medidas establecidas en el PIGECA para reducir las emisiones generadas por vehículos automotores. El fortalecimiento deberá incluir el desarrollo de capacidades del personal, la dotación de los equipos técnicos necesarios y la utilización de herramientas tecnológicas. Entre las acciones a realizar se encuentran: <ol style="list-style-type: none"> a) Supervisar y vigilar el Programa Integral de Inspección de Emisiones y Mantenimiento Vehicular, conforme a las acciones que se han descrito en forma detallado la medida C9. b) Aplicar sanciones efectivas a fuentes móviles que incumplan con las normas de emisiones o con las disposiciones de la revisión técnico mecánica, incluyendo inmovilización, con base en acuerdos institucionales específicos. c) Mejorar la aplicación de sanciones para eliminar emisiones evidentes en fuentes móviles a gasolina y a diésel, de conformidad con lo establecido en los artículos 16 y 17 de la Resolución 910 de 2008. d) Fortalecer la articulación interinstitucional y el trabajo conjunto con las Secretarías de Tránsito y los CDA, a fin de garantizar que los vehículos que circulan en el área metropolitana cumplan con la normatividad y los que no sean efectivamente sancionados. e) Elaborar y publicar informes periódicos y especiales de las acciones realizadas y los resultados de los programas de control y vigilancia de fuentes móviles.
G2	<p>Programa de Detección Remota de Emisiones (DRE) vehicular en vía</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar un programa permanente de detección remota de emisiones con fines pedagógicos, de reforzamiento de la vigilancia y de generación de grandes volúmenes de información para la mejora continua de regulaciones y medidas para el control de las emisiones generadas por las fuentes móviles. Las acciones que forman parte de esta línea incluyen la comisión y capacitación de personal especializado para: <ol style="list-style-type: none"> a) La realización de operativos permanentes de medición de emisiones vehiculares en sitios estratégicos e itinerantes en el Valle de Aburrá mediante dispositivos de teledetección de emisiones (RSD), capaces de medir en tiempo real las emisiones de una gran cantidad de vehículos sin

Líneas de acción	
	<p>necesidad de que se detengan⁶⁶</p> <p>b) El procesamiento de datos, elaboración de informes y la aplicación de la información generada para fines del control de emisiones de fuentes vehiculares.</p>
G3	<p>Fortalecer acciones de prevención y control de emisiones generadas por fuentes fijas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimiento de la capacidad técnica del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Cornare y Corantioquia, así como sus acuerdos de coordinación para que el ámbito de sus competencias, apliquen y vigilen el cumplimiento de la normatividad en materia de emisiones de fuentes fijas. El fortalecimiento deberá incluir el desarrollo de capacidades del personal, la dotación de los equipos técnicos necesarios y la utilización de herramientas tecnológicas. Entre las acciones a realizar se encuentran: <ul style="list-style-type: none"> a) Supervisar y vigilar el cumplimiento de las Resoluciones Nacionales y Metropolitanas, aplicables para la prevención y control de la contaminación atmosférica generada por los establecimientos comerciales, industriales y de servicios, conforme a las acciones que se han descrito con mayor detalle en las medidas E1 – E10. b) Aplicar sanciones efectivas a las fuentes estacionarias que incumplan con los límites de emisiones y otras disposiciones establecidas en las resoluciones nacionales y metropolitanas correspondientes. c) Elaborar y publicar informes periódicos y especiales de las acciones realizadas y los resultados de los programas de control y vigilancia de fuentes estacionarias.

Eje temático 8: Atención oportuna y eficaz a episodios de contaminación del aire

El propósito de este eje es establecer los lineamientos que permitan mantener actualizado, vigente y operativo el Plan Operacional de Episodios Críticos con los siguientes objetivos principales: a) protección de la salud de la población del Valle de Aburrá antes eventos de alta contaminación atmosférica asociados a condiciones meteorológicas desfavorables y circunstancias extraordinarias de emisión de contaminantes; b) efectividad en la implementación de acciones emergentes que permitan reducir la intensidad de las emisiones en el Valle de Aburrá y sectores geográficos específicos ante tales situaciones; c) utilización del POECA como instrumento de concientización y fortalecimiento de cultura ciudadana a favor de la mejora de la calidad del aire; y d) impulso a acciones de transformación

⁶⁶ Los dispositivos de teledetección de emisiones (RSD) envían rayos infrarrojos o ultravioletas horizontalmente a través de las columnas de escape del vehículo y miden las emisiones de gases de escape de contaminantes criterio en relación con el CO₂. Estas proporciones y el contenido de carbono de los combustibles pueden utilizarse para determinar las emisiones de contaminantes por masa (kilogramo) de combustible, que pueden convertirse a las emisiones de contaminantes por volumen (galón) de combustible, con el conocimiento de la densidad media del combustible. Las emisiones por volumen de los resultados del combustible pueden combinarse con los datos de ventas de combustible para producir estimaciones de los inventarios de emisiones basadas en el combustible.

estructural que disminuyan emisiones y reduzcan la probabilidad de contingencias atmosféricas en el mediano y largo plazo.

Líneas de acción	
H1	<p>Fortalecimiento de los mecanismos de actuación del POECA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementación de las disposiciones del Protocolo del Plan Operacional de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica (Artículo 17 del Acuerdo Metropolitano N. °15 de 2016), así como de otras resoluciones, programas y disposiciones relacionados para mejorar la capacidad de respuesta institucional oportuna y eficaz frente a episodios de contaminación del aire. Las acciones a implementar incluyen: <ol style="list-style-type: none"> a) Operatividad del Grupo de Gestión de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica (GECA): <ol style="list-style-type: none"> i. Acordar con todas las instituciones que hacen parte del Grupo de Gestión de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica (GECA)⁶⁷, que éste funcione de manera permanente y se fortalezcan sus capacidades y herramientas para preparar y desplegar acciones dirigidas a mitigar los impactos asociados a los eventos de contaminación en la región, así como para anticiparlos. b) Elaboración anual del Plan de Acción para la implementación del Protocolo. <ol style="list-style-type: none"> i. Los municipios elaborarán un Plan de Acción para la Implementación Anual del Protocolo, con el acompañamiento y asesoría del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el cual deberá ser adoptado mediante Acto Administrativo. Los municipios enviarán dicho Plan de Acción al Área Metropolitana, entre los meses de septiembre y octubre de cada año y a partir de esta información, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá elaborará un Plan de Acción Metropolitano, el cual publicará anualmente en su página web, antes del inicio del periodo regular de gestión de episodios. ii. El Plan de acción deberá costear todos los recursos (físicos, humanos, económicos, tecnológicos) que se requieren para la implementación de las diferentes medidas y contará con recursos económicos por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y de los municipios. c) Fortalecimiento de las capacidades y herramientas para la implementación del POECA.

⁶⁷ El GECA está integrado por representantes del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y de los 10 municipios socios y por SIATA (en calidad de instrumento técnico del Área y responsable de apoyar la gestión de episodios críticos de contaminación atmosférica a partir de la evaluación de la información técnica para la declaratoria de un episodio de contaminación).

	<ul style="list-style-type: none"> i. Se fortalecerá la capacidad de reacción e intervención del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y los 10 municipios, ante episodios de contaminación atmosférica, por lo que se deberán reforzar los mecanismos de articulación, conocimiento, comunicaciones y trabajo interinstitucional ante episodios de afectación a la calidad del aire, como medida para incrementar la efectividad de actuación de las autoridades locales y para minimizar los efectos sobre la población y el medio ambiente. ii. El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, a través de la Subdirección Ambiental, deberá liderar los procesos de articulación y fortalecimiento de capacidades y herramientas entre las distintas entidades públicas y privadas que se requieran para la implementación y seguimiento del Protocolo. iii. Mejora continua del sistema de emergencias en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, incluyendo entre otros aspectos la adquisición y mantenimiento periódico de equipos y sistemas necesarios para la atención, seguimiento y vigilancia de las medidas que hacen parte del POECA. iv. Articulación con el sistema de salud para hacer vigilancia a las contingencias, siguiendo los lineamientos previstos en la medida A1. <p>d) Compromiso en la implementación de las acciones del Protocolo.</p> <ul style="list-style-type: none"> i. En los meses en los que el Área Metropolitana del Valle de Aburrá declare el estado de precaución y vigilancia intensiva, regularmente febrero-abril y octubre–noviembre, durante los cuales se presenta un incremento de las concentraciones de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) asociado a condiciones meteorológicas desfavorables, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y los 10 municipios socios deberán reforzar las actividades de control y vigilancia de las principales fuentes de contaminación y se deberá lograr el apoyo de entidades públicas y privadas con medidas que contribuyan a la reducción de emisiones contaminantes. ii. Para ello, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y los 10 municipios socios, deberán realizar las reglamentaciones necesarias para la aplicación de las medidas definidas en el Protocolo del Plan Operacional. Los directivos de las entidades públicas y privadas deberán fijar acciones alternativas que acompañen y refuercen las medidas establecidas en Protocolo, tales como teletrabajo, horarios flexibles y reuniones virtuales que disminuyan las necesidades de movilidad y la faciliten a los habitantes de la región en los períodos de ocurrencia de episodios críticos. <p>e) Elaboración de reportes anuales sobre la gestión de episodios.</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Al final de cada periodo regular de gestión de episodios (febrero-abril y octubre–noviembre), los municipios deberán enviar un reporte al Área Metropolitana que resuma los resultados obtenidos
--	---

	<p>en la implementación del Plan de Acción. Asimismo el Área Metropolitana, deberá elaborar los reportes técnicos para informar a la comunidad sobre los resultados de la gestión de episodios y el cumplimiento del Plan de Acción.</p> <p>f) Consolidación del POECA como instrumento de concientización y fortalecimiento de cultura ciudadana a favor de la mejora de la calidad del aire.</p> <p>i. Uno de los principales componentes del Plan Operacional es el Plan de Comunicaciones, mediante el cual se informa a la población sobre la ocurrencia de un episodio (inicio, evolución y finalización), se brindan recomendaciones orientadas a disminuir la exposición de la población a los contaminantes y a minimizar las emisiones de contaminantes atmosféricos, además de la respectiva difusión de las medidas a implementar en cada uno de los niveles de contingencia atmosférica. La implementación del Plan Operacional constituye una oportunidad para sensibilizar a la comunidad sobre la promoción de conductas tendientes a reducir o evitar la emisión de contaminantes, como el uso del SITVA, el uso de la bicicleta, la conducción eco-eficiente y segura y el buen mantenimiento del vehículo.</p> <p>ii. El Área Metropolitana del Valle de Aburrá y los 10 municipios socios, deberán disponer de los recursos necesarios para la implementación anual del Plan de Comunicaciones.</p> <p>g) Revisión periódica del Protocolo del POECA.</p> <p>i. El Protocolo deberá ser actualizado como mínimo cada tres (3) años, con el fin de revisar los avances en el manejo de episodios y realizar los ajustes necesarios.</p>
<p>H2</p>	<p>Inclusión del escenario de riesgo por contaminación atmosférica en los Planes Municipales de Gestión del Riesgo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inclusión por parte de los Consejos Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD)⁶⁸ del escenario de riesgo por contaminación atmosférica dentro de los Planes Municipales de Gestión del Riesgo. Ello implica la definición y puesta en marcha de acciones concretas de carácter institucional para: <ul style="list-style-type: none"> a) Disminuir la exposición de las personas a los contaminantes. b) Mitigar las emisiones generadas por las diferentes fuentes, teniendo como propósito final la protección de la salud pública.

⁶⁸ Los Consejos Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD), son actores fundamentales en la divulgación de la información y en la actuación específica que se requiere frente a una situación de riesgo como es la ocurrencia de un episodio de contaminación, en la cual se puede afectar la salud de la población.

Eje temático 9: Protección y transformación de zonas sensibles a la contaminación

Debido a la configuración topográfica del Valle de Aburrá y sus condiciones meteorológicas características, la contaminación atmosférica tiende a acumularse en zonas centrales de los municipios de Medellín, Bello Itagüí y La Estrella, como resultado tanto de las emisiones locales, así como del traslado de contaminantes generados en otras zonas. Ante esta situación, este eje temático está dirigido al establecimiento de zonas de baja emisión, en las cuales se restringirá o se disuadirá el transporte motorizado y de actividades de fuentes fijas con emisiones contaminantes significativas, con la finalidad de mejorar la calidad del aire local. Esto puede promover la modernización del parque vehicular con unidades que utilizan combustibles alternativos, sistemas de propulsión híbrida (gasolina o diésel y electricidad) o vehículos de emisión cero, sobre todo eléctricos.

Las líneas de acción que a continuación se presentan, deben ser contempladas en forma integrada con lo señalado en el Eje Estratégico 2, relativo a la Planeación y Ordenamiento Territorial.

Líneas de acción	
11	<p>Creación de zonas de baja emisión y zonas de circulación restringida en áreas estratégicas del Valle de Aburrá</p> <ul style="list-style-type: none"> • Designación e implementación de zonas de baja emisión de contaminantes, especialmente para PM_{2.5} en puntos estratégicos del Valle de Aburrá en los cuales el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y las Secretarías de Movilidad y Tránsito, en articulación con otras entidades de gestión del espacio público establezcan medidas encaminadas a: <ol style="list-style-type: none"> a) Instalar señalética que visibilice a las zonas de baja emisión. b) Restringir la circulación de vehículos en áreas como centros de los municipios que hacen parte del Valle de Aburrá, sitios turísticos, zonas escolares, zonas de espectáculos, y zonas de alta congestión, entre otros, especialmente en periodos de contingencia ambiental. c) Promover la movilidad activa (caminar y uso de la bicicleta). d) Realizar intervenciones especiales de mejora del transporte público. e) Habilitar espacios públicos libres de autos. f) Implementar políticas de restricción de estacionamiento. g) Desarrollar acciones de pedagogía y concientización para incentivar el cumplimiento y fomentar la protección a la salud de las personas. h) Otras medidas para evitar la generación de emisiones en zonas con altos niveles de contaminación mediante la desmotivación al uso de vehículos privados.
12	<p>Creación de zonas protegidas para reducir la exposición a la contaminación atmosférica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Designación e implementación por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y las Secretarías de Movilidad y Tránsito, en articulación con otras entidades de gestión del espacio público, de zonas que por las características de la población que en ella se encuentra, requieren de medidas especiales de protección para la reducción de la exposición a contaminantes atmosféricos, especialmente para PM_{2.5},

Líneas de acción	
	<p>estas zonas pueden incluir instituciones de educación (principalmente preescolar y primaria), hogares geriátricos, hospitales y centros deportivos, entre otros. Las acciones a implementar en estas zonas incluyen:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Instalar señalética que visibilice a las zonas protegidas para reducir la exposición. b) Regular horarios de circulación del tráfico. c) Implementar políticas de restricción de estacionamiento. d) Vigilar el cumplimiento efectivo de las relaciones relativas a la prohibición de la circulación de vehículos con emisiones visibles; fortalecer la verificación del cumplimiento de las disposiciones aplicables al control de emisiones vehiculares. e) Restringir la circulación de vehículos de carga pesada. f) Desarrollar acciones de pedagogía y concientización para incentivar el cumplimiento y fomentar la protección a la salud de las personas.

Eje temático 10: Sistema de cargas y beneficios a agentes en función de su aporte positivo o negativo a la calidad del aire

Los instrumentos económicos tienen como objetivo controlar la contaminación mediante el aprovechamiento del poder de los incentivos de mercado, ofreciendo opciones rentables, flexibles y dinámicas más que las medidas convencionales. La principal ventaja de los instrumentos económicos (o fiscales) es que permitirían que un determinado objetivo de contaminación se cumpla con un costo total a las regulaciones tradicionales. Los instrumentos económicos otorgan a las empresas y a los individuos mayor autonomía para decidir cómo alcanzar los objetivos; crean incentivos continuos para que las empresas diseñen nuevas y mejoradas tecnologías de reducción que aseguren que el control de la contaminación sea cada vez más barato; reducen la carga de la información sobre los reguladores; y proporcionan fuentes de ingresos potenciales para los gobiernos estatales o federales. Además, los instrumentos económicos pueden proporcionar una mayor flexibilidad para hacer frente a las fuentes de emisiones más pequeñas y difusas, que contribuyen colectivamente a grandes cantidades de contaminación, pero que hasta ahora se han ignorado en gran medida por controlar la contaminación a partir de fuentes más obvias.

Líneas de acción	
J1	<p>Establecimiento de beneficios y cargas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración conjunta de un proyecto de modificación al Estatuto Tributario, con aportes técnicos y financieros del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y otros interesados, e instrumentos locales para el fortalecimiento de las disposiciones relativas a beneficios y cargas aplicables a

Líneas de acción

la mejora de la calidad del aire. Entre otros aspectos dicho proyecto se basará en el principio “contaminar cuesta”⁶⁹ y neutralidad fiscal. Los temas a considerar son:

a) Beneficios:

- i. Incentivos tributarios y de circulación a modos limpios o menos contaminantes, conforme con la pirámide invertida de movilidad sostenible que privilegia a los modos no motorizados y de transporte público por encima del transporte motorizado individual.
- ii. Incentivos para cambios de modos de transporte a tecnologías o modalidades limpias.
- iii. Incentivos a empresas con sistemas de producción limpia y consumo sostenible.
- iv. Incentivos a las empresas y empleados que implementen Planes MES sin estar obligados por la Resolución Metropolitana 1379 de 2017.
- v. Programa de Reconocimiento Empresarial en Sostenibilidad.
- vi. Promoción y estímulo a la gestión y el desempeño socioambiental de los sectores productivos y empresariales en el Valle de Aburrá y sus territorios integrados, mediante reconocimientos honoríficos.
- vii. Promoción de alianzas público-privadas para llevar a cabo programas de reducción de la contaminación en los sectores industriales y de transporte.
- viii. Involucramiento a la banca pública y privada para incrementar la emisión de bonos verdes, que hagan posible la inversión en proyectos de reducción de emisiones o el desarrollo y uso de las energías renovables para la sustitución de combustibles fósiles.
- ix. Gestión para reducir aranceles a importación de vehículos con tecnologías que protejan el aire.
- x. Gestión de recursos de asistencia financiera y técnica internacional en apoyo a la implementación de proyectos de reducción de contaminantes, gases de efecto invernadero y programas de conservación ambiental con beneficios globales.

b) Cargas

- i. Gestión de mayores cargas impositivas y tasas retributivas a actividades con mayores niveles de contaminación en el transporte, la industria y los servicios.
- ii. Gestión para desarrollar propuestas de ajuste en el arancel de aduanas colombiano o establecer nuevas condiciones para la importación o fabricación de vehículos de combustión interna con tecnologías obsoletas o altamente contaminantes.

⁶⁹ En la ley internacional, el principio “quien contamina paga” es mencionado como principio 16 en la Declaración de Río sobre Ambiente y Desarrollo. Este principio también se encuentra implementado en la legislación colombiana.

Líneas de acción	
	<ul style="list-style-type: none"> iii. Desarrollar propuestas de la política tributaria y de circulación al uso de vehículos y motos con tecnologías altamente contaminantes. iv. Implementación del modelo de tasas por emisión de contaminantes, a través del cual se cobra a las empresas una cuota diferenciada por unidad de descarga de contaminantes del aire, por encima de los niveles máximos permisibles, más críticos (establecidos por la autoridad ambiental) al aire, con el fin de que éstas traten eficazmente esas emisiones y de esta manera reducir la contaminación. v. Desarrollo e implementación de una propuesta de programa de derechos negociables o bonos de emisión a través del cual la autoridad ambiental fija la carga máxima de contaminantes que puede recibir el medio ambiente. La carga máxima se divide en derechos de emisión que son vendibles y transferibles tal cual fueran títulos o valores negociables.

Medidas prioritarias para la reducción de emisiones

Este PIGECA, a través de sus pilares y ejes temáticos mantiene un enfoque integral y comprehensivo de la problemática de calidad del aire y de las acciones necesarias para su mejoramiento. El PIGECA requiere la aplicación conjunta de las medidas de sus pilares y ejes temáticos en un proceso que redunde en el fortalecimiento de capacidades; el involucramiento de actores; la creación de una cultura ciudadana en pro de la calidad del aire y la reducción de emisiones mediante intervenciones sobre las fuentes de emisión y los factores que las afectan.

En este enfoque de implementación integral, algunas de las medidas propuestas tienen un efecto directo sobre las fuentes de emisión y los factores que las afectan (como la planeación del territorio), de manera que su aplicación permite la reducción de las emisiones. Las medidas que permiten la reducción de emisiones se enfocan en las fuentes móviles y fijas, y se encuentran clasificadas en los siguientes ejes temáticos: a) Planeación y ordenamiento territorial con criterios de sostenibilidad; b) transformación hacia una movilidad eficiente y de bajas emisiones; c) infraestructura y equipamiento con alta cobertura, seguro e incluyente para una movilidad activa y d) industria y servicios competitivos. A continuación se presentan las medidas prioritarias para la reducción de emisiones y los contaminantes que se reducen con su implementación.

Eje temático	Medidas prioritarias	Contaminantes a reducir					
		PM _{2.5}	NO _x	SO _x	VOC	BC	CO ₂
Planeación y Ordenamiento	B1. Establecimiento de lineamientos de zonificación con	X	X	X	X	X	X

Eje temático	Medidas prioritarias	Contaminantes a reducir					
		PM _{2.5}	NO _x	SO _x	VOC	BC	CO ₂
Territorial con criterios de sostenibilidad	criterios de calidad del aire						
Transformación hacia una movilidad eficiente y de bajas emisiones	C1. Mejora de la calidad de diésel y gasolina			X			
	C2. Estándares de emisión más estrictos	X	X	X	X	X	
	C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público	X	X	X	X	X	X
	C6. Políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas	X	X	X	X	X	X
	C9. Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular	X	X	X	X	X	X
	C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente	X	X	X	X	X	X
	C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero	X	X	X	X	X	X
	C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (FDP) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y de postratamiento de emisiones	X				X	
	C15. Política de gestión de la demanda	X	X	X	X	X	X
C16. Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá	X	X	X	X	X	X	
Transformar el modelo de movilidad hacia la promoción y priorización de modos de transporte activo y de ultra bajas emisiones ¹	D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá	X	X	X	X	X	X
	D2. Ampliación, conectividad e interacción de la red de infraestructura para la bicicleta	X	X	X	X	X	X
	D3. Mejoras en equipamiento de la ciudad para movilidad activa	X	X	X	X	X	X

Eje temático	Medidas prioritarias	Contaminantes a reducir					
		PM _{2.5}	NO _x	SO _x	VOC	BC	CO ₂
	D4. Promoción del uso de la bicicleta mediante la disponibilidad de un sistema de bicicletas públicas integrado al SITVA	X	X	X	X	X	X
	D5. Promoción, educación y cultura de la movilidad activa	X	X	X	X	X	X
	D6. Promoción de acciones orientadas a la regulación del uso del vehículo particular	X	X	X	X	X	X
Industria y servicios competitivos y de bajas emisiones	E2. Optimización de sistemas de control de emisiones	X	X	X	X	X	
	E3. Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas	X				X	
	E4. Mejorar el desempeño ambiental y energético de la industria	X	X	X	X	X	X
	E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión	X	X	X	X	X	
	E5b. Instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina a lo largo del proceso de almacenamiento, transporte y suministro				X		

Para estas medidas prioritarias se realizaron análisis del impacto en reducción de emisiones y de costos marginales de la reducción de emisiones por su implementación. Los resultados se presentan a continuación.

Reducción de emisiones en las medidas prioritarias

A continuación se presentan las reducciones de los diferentes contaminantes al año 2030 por la implementación de las medidas prioritarias. Para facilitar la comparación en el impacto en la reducción de emisiones, las medidas se agrupan según el tipo de fuente como se muestra en la siguiente tabla.

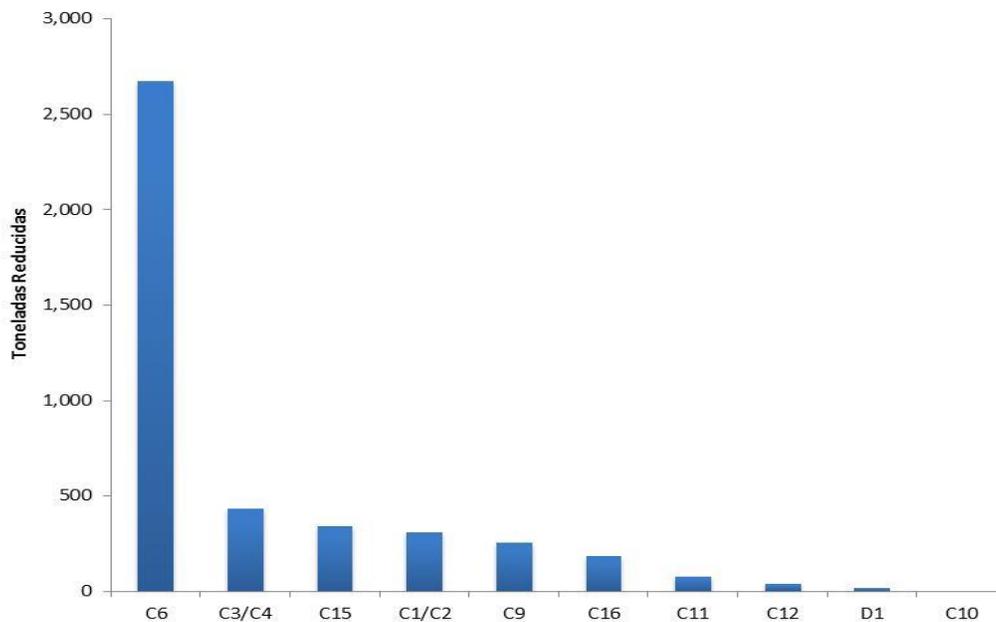
Medidas prioritarias fuentes móviles	Medidas prioritarias fuentes fijas
<ul style="list-style-type: none"> C1/C2. Mejora de la calidad de diésel y gasolina e implementación de estándares de emisión más estrictos^a. C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público. C6. Políticas para reducir el impacto ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> B1. Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire. E2. Optimización de sistemas de control de emisiones. E3. Estándares de emisión más estrictos

Medidas prioritarias fuentes móviles	Medidas prioritarias fuentes fijas
<p>del transporte de carga y volquetas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • C9. Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular. • C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente. • C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero. • C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (FDP) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones. • C15. Política de gestión de la demanda. • C16. Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá. • D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá^b. 	<p>para fuentes fijas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • E4. Mejora del desempeño ambiental y energético de la industria. • E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión.

^a. Dado su carácter integral y complementario. Estas medidas se agrupan para el análisis de reducción de emisiones. ^b. Se usa la nomenclatura D1 representación de la aplicación conjunta de todas las medidas del Eje Temático 4.

El objetivo fundamental en el diseño de las medidas es la reducción de las emisiones directas de PM_{2.5}. Teniendo en cuenta que este contaminante se origina principalmente en los procesos de combustión, las medidas diseñadas para su reducción tienen el potencial de reducir otros contaminantes como se ilustra a continuación.

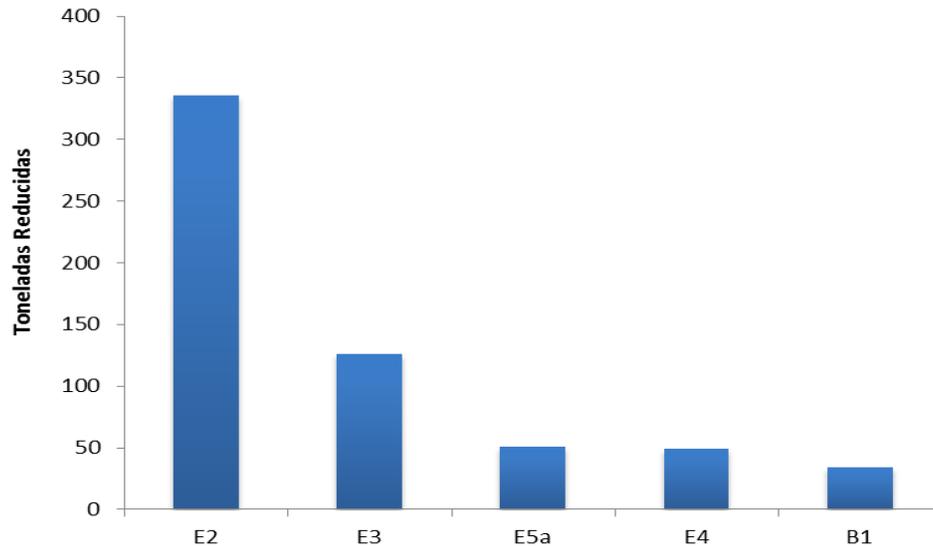
En la Figura 104 se presentan las reducciones de PM_{2.5} primario al año 2030 por la implementación de las medidas prioritarias de fuentes móviles. La medida que permite una mayor reducción de PM_{2.5} es la relacionada con el programa de renovación del transporte de carga (61,7% de las reducciones al año 2030). La medida de expansión, fortalecimiento y fomento al uso del transporte público reduce el 10% de las emisiones, seguido por las medidas de gestión de la demanda, que pueden reducir hasta el 7,9% de las emisiones al año 2030.



C1/C2. Mejora de la calidad del diésel y gasolina e implementación de estándares de emisión más estrictos; C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público; C6. Políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas; C9. Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular; C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente; C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero; C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (DPF) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones; C15. Políticas de gestión de la demanda; C16. Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá; D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá.

Figura 104. Reducción de Emisiones de PM_{2.5} al año 2030. Medidas prioritarias – Sector Transporte

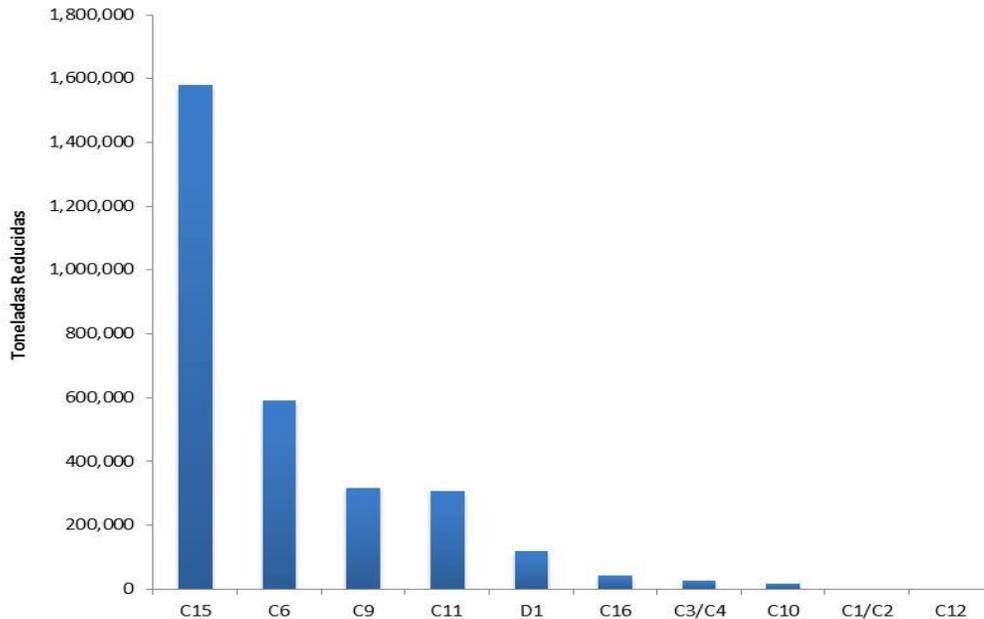
En la Figura 105 se presentan las reducciones de PM_{2.5} al año 2030 por la implementación de las medidas prioritarias de fuentes fijas. La principal reducción se asocia con la optimización de sistemas de control de emisiones (57%), seguida de la adopción de estándares de emisión más estrictos para este tipo de fuentes. La mejora del desempeño ambiental y energético de la industria permite la reducción del 7,8% de las emisiones al año 2030.



B1. Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire; E2. Optimización de sistemas de control de emisiones; E3. Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas; E4. Mejorar el desempeño ambiental y energético de la industria; E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión.

Figura 105. Reducción de emisiones de PM_{2.5} al año 2030. Medidas prioritarias – Fuentes Fijas

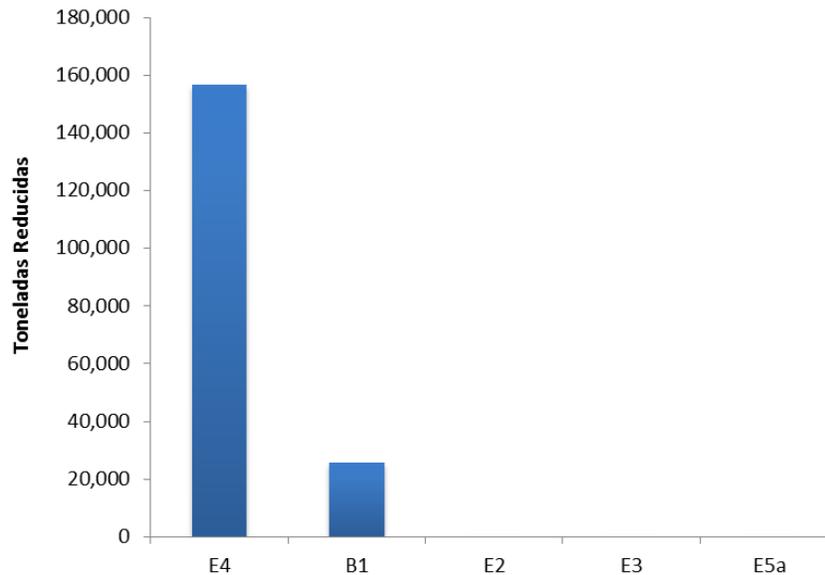
En la Figura 106 se presentan las reducciones de CO₂ por la implementación de las medidas prioritarias del sector transporte. El 53% de la reducción de emisiones de CO₂ (1,579,831 toneladas) al año 2030 corresponde a las medida de Políticas de Gestión de la Demanda (C15). El 20% de la reducción corresponde a las políticas para reducir el impacto ambiental de carga y volquetas (C6), mientras que en conjunto, las medidas del ‘Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular’ (C9) y la Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero (C11) representan el 21% de reducción de las emisiones (619.883 toneladas).



C1/C2. Mejora de la calidad del diésel y gasolina e implementación de estándares de emisión más estrictos; C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público; C6. Políticas para reducir el impacto ambiental de carga y volquetas; C9. Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular; C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente; C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero; C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (DPF) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones; C15. Políticas de gestión de la demanda; C16. Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá; D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá.

Figura 106. Reducción de Emisiones de CO₂ al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte

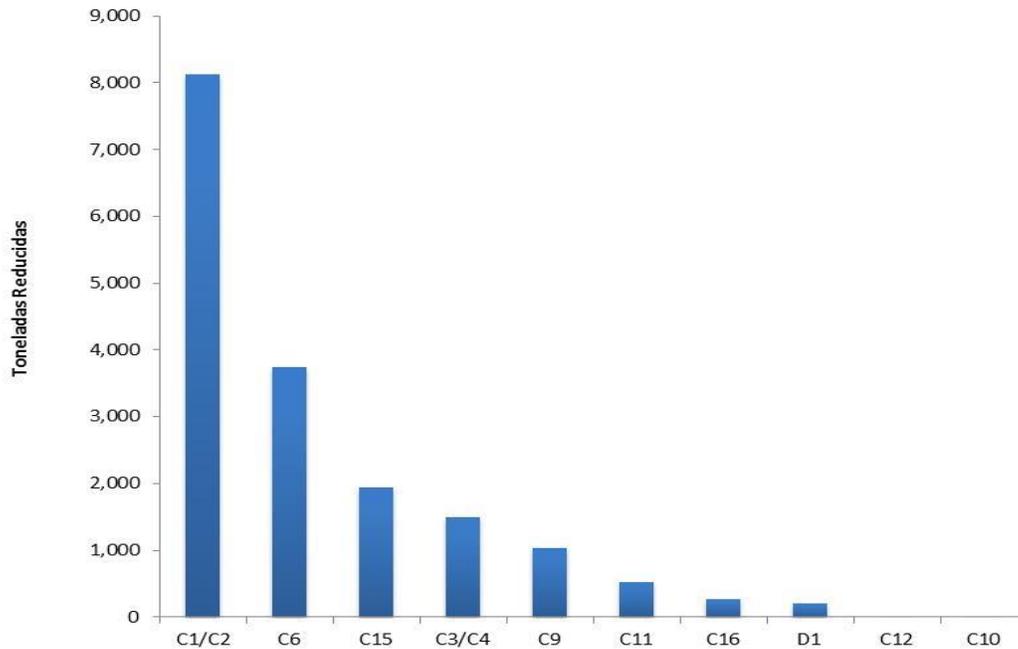
En la Figura 107 se presenta la reducción de emisiones de CO₂ por la implementación de las medidas prioritarias de fuentes fijas. La reducción de CO₂ se asocia principalmente a la mejora del desempeño ambiental y energético de la industria (E4), la cual reduce el 86% de las emisiones (157.676 toneladas) y al establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire (B1) que reduce el 14% de las emisiones al año 2030. (25.516 toneladas).



B1. Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire; E2. Optimización de sistemas de control de emisiones; E3. Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas; E4. Mejorar el desempeño ambiental y energético de la industria; E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión.

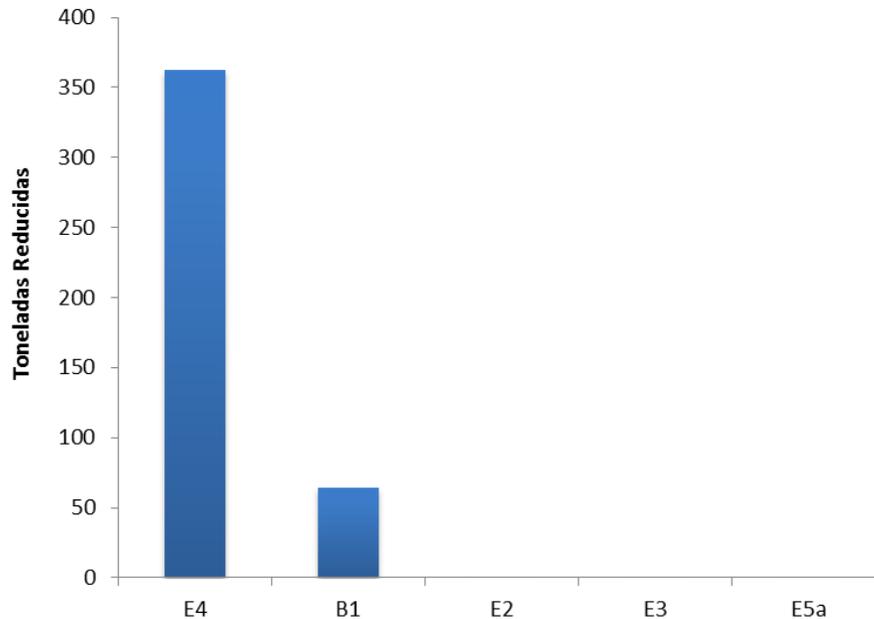
Figura 107. Reducción de Emisiones de CO₂ al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas

En las Figuras 108 y 109 se presentan las reducciones de NO_x por la implementación de las medidas prioritarias del sector transporte y de industria respectivamente. En el caso del sector transporte (Figura 12), el 47% de las reducciones (8.121 toneladas) se asocian con la implementación de las medidas C1/C2, que incluyen la mejora de la calidad del diésel y gasolina e implementación de estándares de emisión más estrictos. El 22% de la reducción (2.671) corresponde a las políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas (C6). En el caso de las fuentes fijas, el 85% de la reducción (363 toneladas) corresponde a la mejora del desempeño ambiental y energético (E4), mientras que el 15% (64 toneladas) se atribuye al establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire (B1).



C1/C2. Mejora de la calidad del diésel y gasolina e implementación de estándares de emisión más estrictos; C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público; C6. Políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas; C9. Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular; C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente; C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero; C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (DPF) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones; C15. Políticas de gestión de la demanda; C16. Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá; D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá.

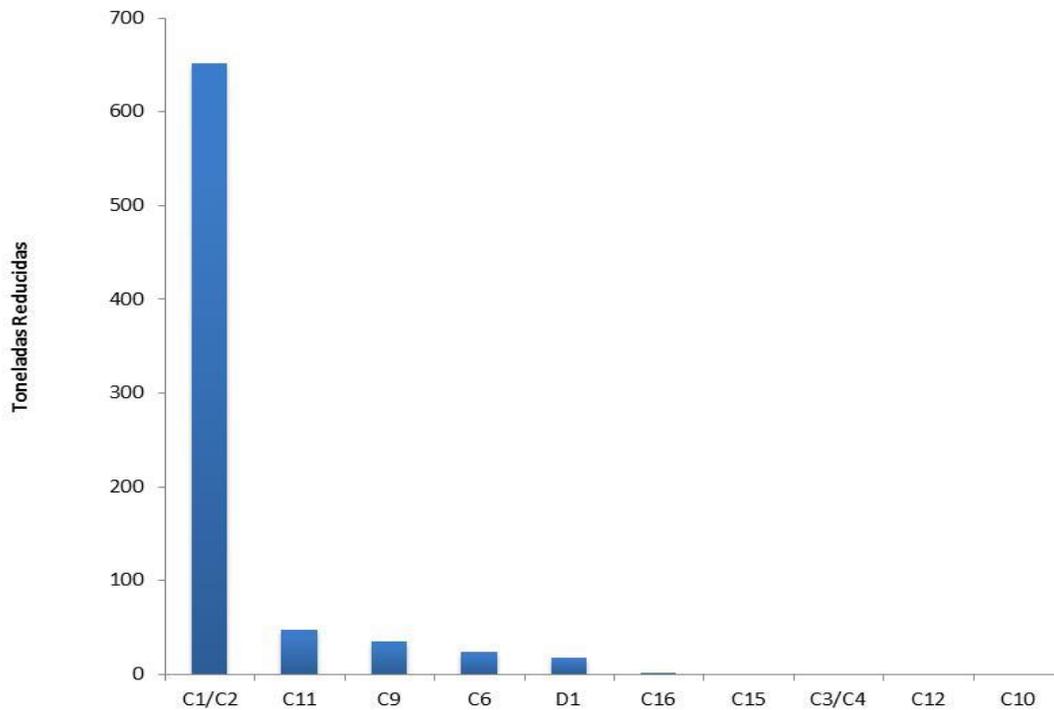
Figura 108. Reducción de Emisiones de NO_x al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte



B1. Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire; E2. Optimización de sistemas de control de emisiones; E3. Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas; E4. Mejorar el desempeño ambiental y energético de la industria; E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión.

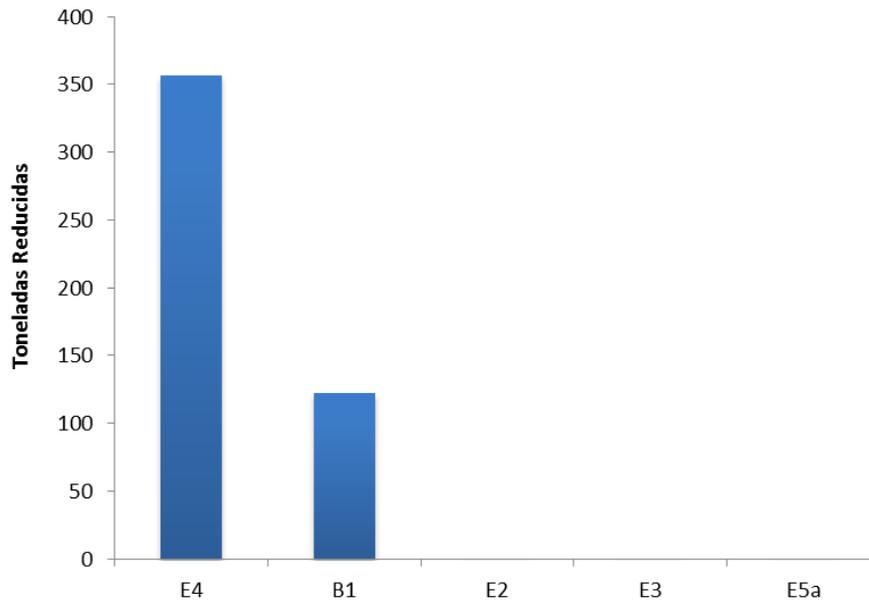
Figura 109. Reducción de Emisiones de NO_x al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas

En la Figura 110, en cuanto a las medidas prioritarias del sector transporte, la reducción mayoritaria se debe a la mejora de la calidad del diésel y gasolina e implementación de estándares de emisión más estrictos (C1/C2), esta medida reduce el 84% (651 toneladas) de las emisiones de SO₂. Las medidas de introducción de vehículos eléctricos, renovación vehicular y reestructuración de la revisión técnico mecánica reducen el 16% restante. La reducción de emisiones de SO₂ provenientes de las fuentes fijas (Figura 111) corresponden a la mejora del desempeño ambiental y energético de la industria (E4) y al establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire (B1).



C1/C2. Mejora de la calidad del diésel y gasolina e implementación de estándares de emisión más estrictos; C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público; C6. Políticas para reducir el impacto ambiental de carga y volquetas; C9. Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular; C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente; C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero; C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (DPF) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones; C15. Políticas de gestión de la demanda; C16. Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá; D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá.

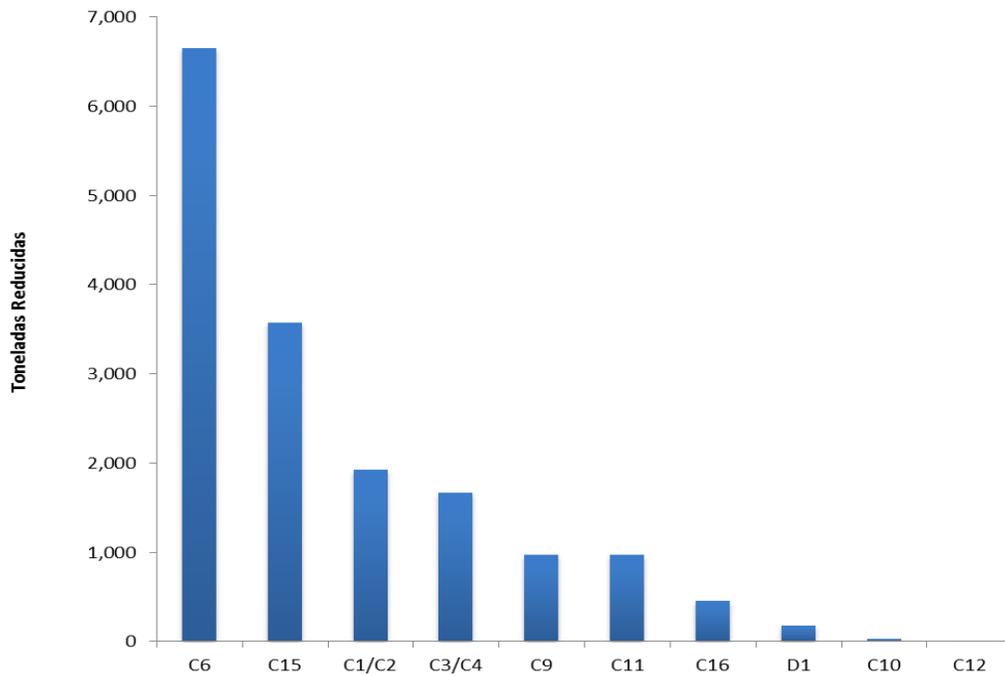
Figura 110. Reducción de Emisiones de SO₂ al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte



B1. Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire; E2. Optimización de sistemas de control de emisiones; E3. Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas; E4. Mejorar el desempeño ambiental y energético de la industria; E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión.

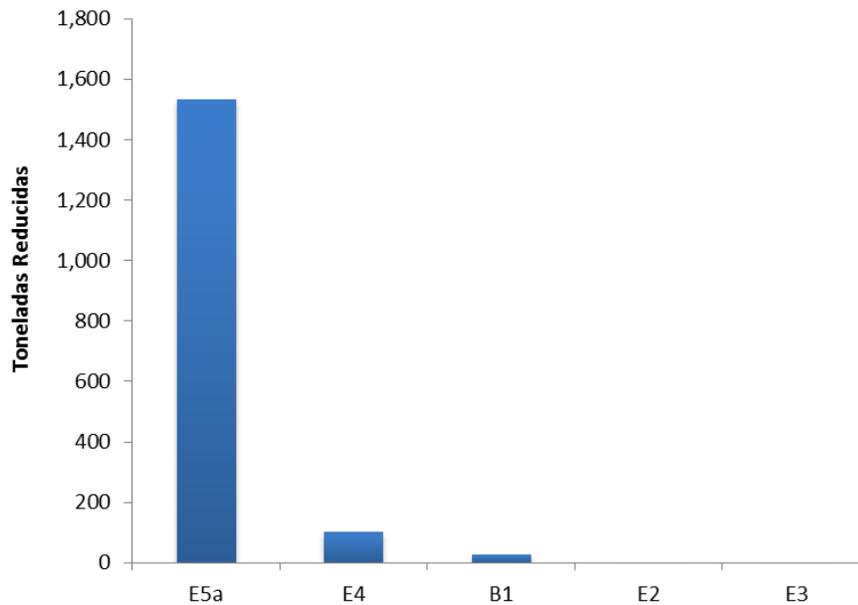
Figura 111. Reducción de Emisiones de SO₂ al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas

En las Figuras 112 y 113 se presentan los resultados de la reducción de VOC por la implementación de las medidas prioritarias para la reducción de emisiones en el sector transporte e industria respectivamente. La reducción de VOC del sector transporte se atribuye mayoritariamente a las políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas (C6) la cual reduce el 40% de las emisiones al año 2030 (6.648 toneladas) y la medida de políticas de gestión de la demanda (C15), con una reducción del 22% de las emisiones (3.573 toneladas). En relación a las fuentes fijas, la reducción de VOC se asocia principalmente con el control de fuentes de no combustión (E5a), que tiene el potencial de reducir las emisiones sectoriales de este contaminante en un 92% (1.533 toneladas).



C1/C2. Mejora de la calidad del diésel y gasolina e implementación de estándares de emisión más estrictos; C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público; C6. Políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas; C9. Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular; C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente; C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero; C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (DPF) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones; C15. Políticas de gestión de la demanda; C16. Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá; D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá.

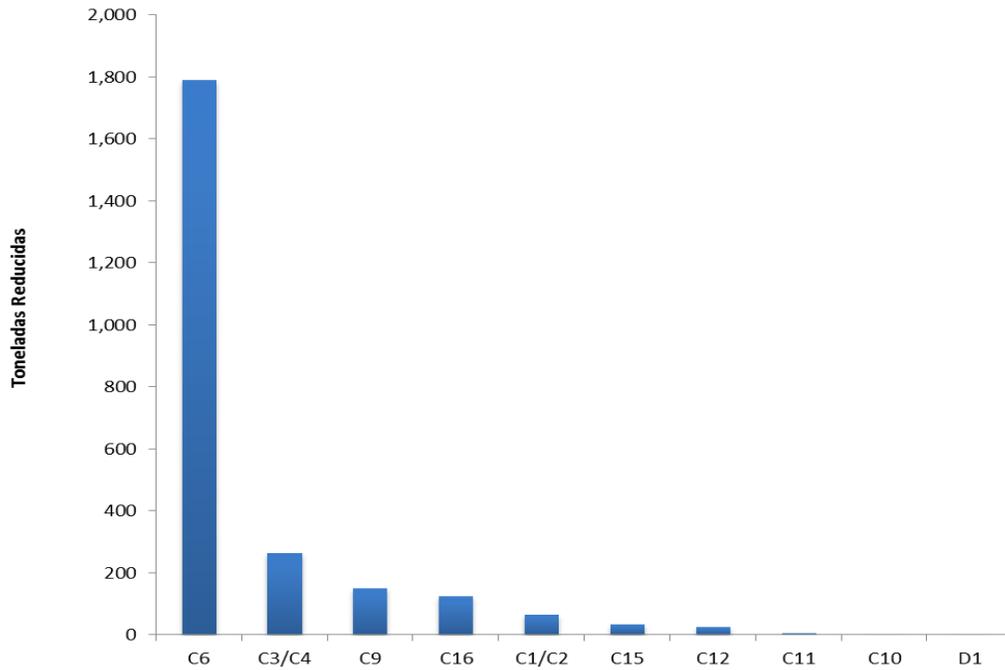
Figura 112. Reducción de Emisiones de VOC al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte



B1. Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire; E2. Optimización de sistemas de control de emisiones; E3. Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas; E4. Mejorar el desempeño ambiental y energético de la industria; E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión.

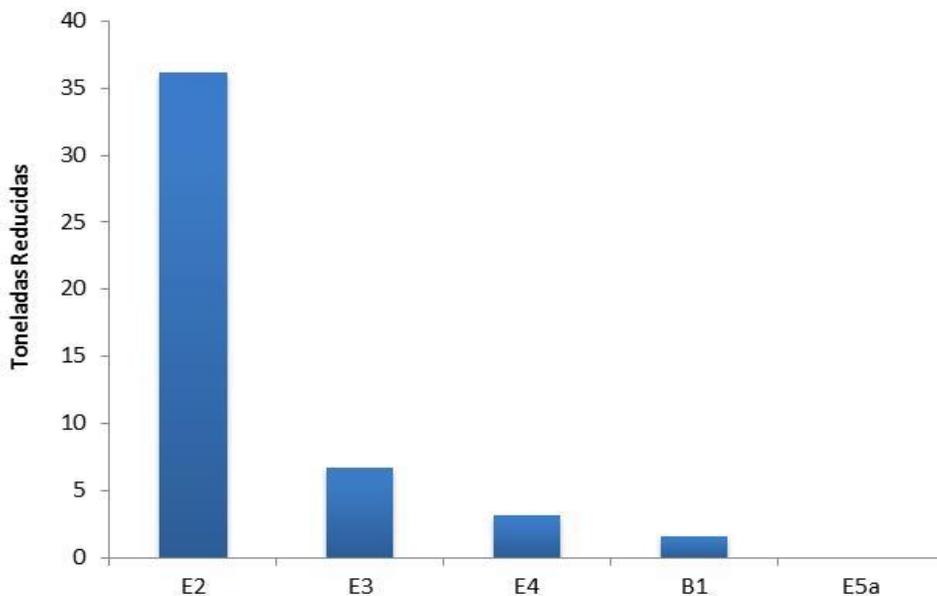
Figura 113. Reducción de Emisiones de VOC al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas

En las Figura 114 y 115 se presentan los resultados de la reducción de carbono negro por la implementación de las medidas prioritarias para la reducción de emisiones en el sector transporte e industria respectivamente. Para el caso del sector transporte, el 73% de la reducción de emisiones (1.791 toneladas) corresponde a las políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas (C6), y el 11% (264 toneladas) a la expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público (C3/C4). En el caso de las fuentes fijas, el 76% de la reducción (36 toneladas) corresponde a la optimización de sistemas de control de emisiones (E2) y el 14% (7 toneladas) al establecimiento de estándares de emisión más estrictos (E3).



C1/C2. Mejora de la calidad del diésel y gasolina e implementación de estándares de emisión más estrictos; C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público; C6. Políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas; C9. Programa integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular; C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente; C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero; C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (DPF) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones; C15. Políticas de gestión de la demanda; C16. Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá; D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá.

Figura 114. Reducción de emisiones de Carbono Negro al año 2030. Medidas Prioritarias – Sector Transporte



B1. Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire; E2. Optimización de sistemas de control de emisiones; E3. Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas; E4. Mejorar el desempeño ambiental y energético de la industria; E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión.

Figura 115. Reducción de Emisiones de Carbono Negro al año 2030. Medidas Prioritarias – Fuentes Fijas

Análisis de costos marginales de reducción de emisiones

La curva de costo marginal de abatimiento (conocida ampliamente como MACC por sus siglas en inglés) es una de las herramientas empleadas para presentar y evaluar las opciones de reducción de emisiones en relación con una línea base. La Curva MACC es ampliamente utilizada para analizar, de una manera sucinta y directa, alternativas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y también puede utilizarse para el mismo fin en el caso de contaminantes criterio. La Curva MACC es “[...] una representación gráfica de los costos de abatimiento de una cartera de opciones de mitigación junto a sus potenciales de mitigación, en el cual se pueden observar las distintas opciones ordenadas ascendentemente de acuerdo al costo unitario de abatimiento”⁷⁰.

Las Curvas MACC se dividen en bloques discretos y cada uno de estos representa una medida o un conjunto de medidas similares (o complementarias). El ancho de cada bloque indica la cantidad de

⁷⁰ Desarrollo de una metodología para la construcción de curvas de abatimiento de emisiones de GEI incorporando la incertidumbre asociada a las principales variables de mitigación. Clerc, J., Díaz, M. y B. Campos. Nota técnica IDB-TN-541. BID, 2013.

reducción de emisiones (toneladas de contaminante) mientras que la altura representa el costo marginal de la reducción de emisiones (unidades de \$/tonelada de contaminante). Los bloques se ordenan de forma tal que las opciones de costo más bajo, que pueden representar ahorros netos o costos negativos (\$ negativos/tonelada no emitida), se muestran primero a la izquierda y las opciones de costo más alto siguen hacia la derecha.

La Figura 116 muestra la Curva MACC elaborada para analizar el costo marginal de abatimiento de las medidas prioritarias incluidas en el PIGECA para el logro de las metas propuestas de reducción de PM_{2.5}. Esta curva MACC del PIGECA ha sido construida a partir de la información disponible y tiene la finalidad de proporcionar un indicador aproximado acerca de los resultados relativos que las medidas del PIGECA pueden lograr en términos de su potencial de reducción de emisiones y los costos asociados con tales reducciones⁷¹. No obstante, la construcción de una Curva MACC de mayor precisión requiere una gran cantidad de información cuya recopilación será necesario realizar como parte de los trabajos de implementación, seguimiento y evaluación del PIGECA.

En la Figura 116 se pueden identificar aquellas que tienen un costo negativo, es decir, que representan un ahorro. Se trata de aquellas en el lado izquierdo de la gráfica y con un costo por debajo del eje horizontal, en este caso, C11 y E4. Se pueden observar también las medidas con un costo neto que se muestran en el lado derecho: mientras mayor la altura, mayor el costo neto; por ejemplo, C3/C4 y C6 tienen el costo más alto.

Asimismo, en la Figura 116 es posible ver cuáles son las medidas que pueden brindar una mayor reducción de emisiones; éstas son las medidas con un ancho mayor en el eje horizontal, en este caso, la C6, la C3/C4, la C1 y C16. También las medidas C9, E2 y C15 tienen reducciones significativas, aunque resultan menos claras debido a que su costo es relativamente bajo, y se muestran muy cerca del eje horizontal, porque se han considerado los costos de elaboración de una regulación, pero aún no se cuenta con los costos de implementación de la misma. Es el mismo caso de las medidas E3.

Por otra parte, la Tabla 23 presenta las medidas evaluadas, así como los costos y beneficios estimados. En la columna de costos se han colocado los costos directos de implementación de la medida, basados en la información disponible en la actualidad. En la columna de beneficios se presentan los beneficios directos, por ejemplo, el ahorro económico derivado del ahorro de combustible debido a un uso más eficiente. Es importante resaltar que en este análisis no se ha incluido una estimación del equivalente económico de los beneficios en salud pública derivados de las reducciones de emisiones de cada

⁷¹ En la mayoría de los casos, para la construcción de esta CURVA MACC del PIGECA se ha empleado la información del costo inicial de inversión o de implementación de las medidas, aunque en la mayoría de estos casos no se encontró información suficiente para estimar el costo anual de operación y traerlo a valor presente. En otros casos, los costos de implementación resultaban mínimos y por lo tanto solo se consideraron los costos anuales de operación a valor presente.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



medida, debido a las dificultades metodológicas que implica la desagregación de los efectos aislados de cada medida sobre los cambios en las concentraciones atmosféricas de las $PM_{2.5}$. En la columna costo-beneficio (costo menos beneficio) se presenta la diferencia entre el costo de implementación y el beneficio obtenido. En esta Tabla, el costo de las medidas aparece como un flujo negativo y en color rojo, en tanto que los beneficios económicos directos aparecen como un flujo positivo y en color negro. Las medidas están ordenadas de acuerdo con la columna costo-beneficio, desde el mayor flujo negativo, es decir, el mayor costo, hasta el mayor flujo positivo, es decir, el mayor ahorro.

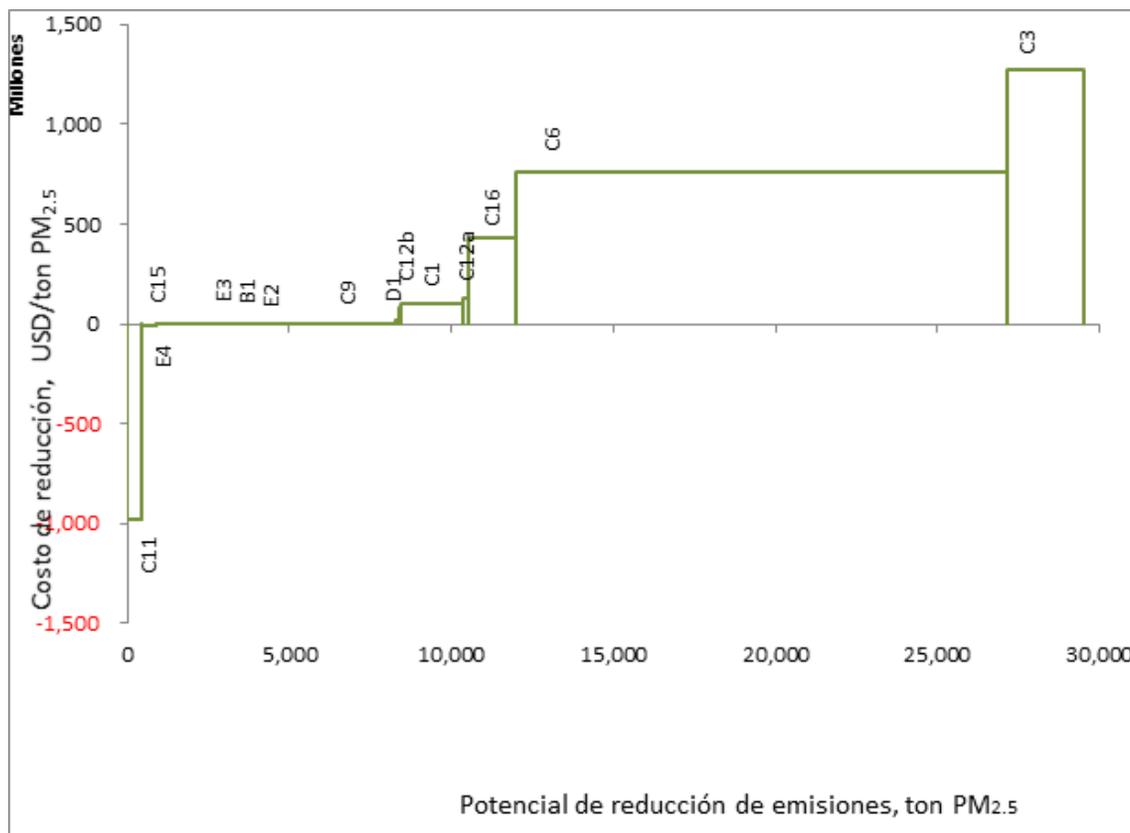


Figura 116. Curva de costos marginales de reducción de las emisiones de PM_{2.5}⁷²

⁷² Estimaciones de costos y beneficios en revisión final.

Tabla 23. Costos de reducción y potencial de reducción de emisiones de PM_{2.5} de las medidas propuestas

No.	Medida	Costo (USD)	Beneficio (USD)	Costo-beneficio (USD)	Reducción de emisiones PM _{2.5} total (ton)
C3/C4	Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público	-2,195,749,333	926,389,027	-1,269,360,306	2,358
C6	Políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas	-758,470,057	n.d.	-758,470,057	15,168
C16	Gestión integral de la logística del transporte de carga y volquetas en el Valle de Aburrá	-426,730,205	n.d.	-427,330,205	1,472
C12a	Requerimiento de instalación de filtros de partículas (FDP) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones (camiones, tractocamiones y volquetas)	-127,314,000	n.d.	-127,314,000	167
C1/C2	Mejora de la calidad de diésel y gasolina y estándares de emisión más estrictos	-604,227,710	503,502,951	-100,724,759	1,895
C12b	Requerimiento de instalación de filtros de partículas (FDP) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones (Buses diésel)	-82,698,000	n.d.	-82,698,000	73
D1	Medidas Eje Temático 4	-18,750,000	3,423,913	-15,326,087	93
C9	Programa integral de inspección de	-2,678,000	n.d.	-2,678,000	2,218

No.	Medida	Costo (USD)	Beneficio (USD)	Costo-beneficio (USD)	Reducción de emisiones PM _{2.5} total (ton)
	emisiones y mantenimiento vehicular				
E2	Optimización de sistemas de control de emisiones	-627,910	n.d.	-627,910	2,286
C15	Política de gestión de la demanda	-600,000	n.d.	-600,000	2,059
E3	Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas	-600,000	n.d.	-600,000	694
B1	Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire	-600,000	n.d.	-600,000	152
E4	Mejora del desempeño ambiental y energético de la industria	-139,739	6,199,878	6,339,617	450
C11	Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero	-4,484,171,425	5,466,504,590	982,333,165	428

Resumen de Medidas del PIGECA

A continuación se presentan los cuadros resumen de la implementación de medidas del PIGECA, estas tablas se presentan por eje temático e incluyen las medidas, el responsable de implementación, un cronograma esquemático de implementación y las reducciones esperadas por contaminante al año 2030. En ocasiones, debido a su integralidad, algunas medidas se evalúan de forma conjunta.

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)						
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂	
Eje Temático 1: Fortalecimiento, generación y aprovechamiento del conocimiento científico y la tecnología													
A1. Diseño e implementación de un Sistema Integrado de Vigilancia Epidemiológica	Secretarías de Salud Municipal						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A2. Fortalecimiento agenda de investigación científica y escenarios de intercambio de experiencias	Secretarías de Salud Municipal, Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A3. Mejora continua de la red de monitoreo, pronóstico y alertas de la calidad del aire	Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A4. Mejora continua del inventario de emisiones	Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A5. Política de Ciudad-Metrópoli Inteligente	Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A6. Fortalecimiento del acceso público a información	Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A7. Fomento a iniciativas y procesos de cocreación local y Nacional	Municipios Área Metropolitana						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A8. Establecimiento e implementación de un sistema integral de gestión de la calidad del aire	Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Subtotal Eje							0	0	0	0	0	0	0

	Diseño/Planeación/Concertación
	Ejecución/Implementación

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)						
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂	
Eje Temático 2: Planeación y Ordenamiento Territorial con Criterios de Sostenibilidad													
B1. Establecimiento de lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire	Secretarías de Planeación de los municipios Área Metropolitana del Valle de Aburrá						34	64	122	26	1	25,516	
B2. Incorporación en el PEMOT de lineamientos para una planeación integral del uso del suelo y el transporte dirigida a favorecer una movilidad sostenible en el Valle de Aburrá.	Secretarías de Planeación de los municipios Área Metropolitana del Valle de Aburrá						Evaluada como parte de C15						
B3. Articulación de los Planes de Ordenamiento Territorial	Secretarías de Planeación de los municipios Área Metropolitana del Valle de												

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)							
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂		
	Aburrá													
B4. Planificación para una movilidad activa	Secretarías de Planeación de los municipios Área Metropolitana del Valle de Aburrá						Evaluada como parte de D1							
B5. Construcción sostenible y ecoeficiente	Secretarías de Planeación de los municipios Área Metropolitana del Valle de Aburrá						Evaluada como parte de C15							
B6. Incorporación de una estrategia integral de mejora logística en la planeación territorial	Secretarías de Planeación de los municipios Área Metropolitana del Valle de Aburrá						Evaluada como parte de C16							
Subtotal Eje							34	64	122	26	1	25,516		

	Diseño/Planeación/Concertación
	Ejecución/Implementación

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)							
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂		
Eje Temático 3: Reducir el impacto ambiental de los viajes motorizados y promover un modelo de movilidad más eficiente														
C1. Mejora de la calidad de diésel y gasolina	ECOPETROL, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Ambiente, Congreso de la República						307	8,121	651	1,928	65	0		
C2. Estándares de emisiones más estrictos	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible													
C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público	Secretarías de Movilidad Municipal, Área Metropolitana del Valle de Aburrá						435	1,487	0	1,668	264	24,973		
C5. Políticas para reducir el impacto ambiental por parte del parque automotor de motocicletas	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible						Evaluada como parte de C2							
C6. Políticas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga y volquetas	Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente, Ministerio de Comercio, Secretarías de Movilidad, Secretarías de Planeación						2,671	3,740	23	6,648	1,791	589,089		
C7. Acciones pedagógicas para generar conciencia y corresponsabilidad sobre la reducción de emisiones de fuentes móviles	Secretarías de Movilidad, Secretarías de Medio Ambiente, Secretarías de Educación Área Metropolitana del Valle de Aburrá, academia						Evaluada como parte de C9							

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)					
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂
C8. Diseño e implementación de un programa de incentivos para la modernización de la flota de automóviles y motocicletas en circulación	Secretarías de Movilidad municipales, Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente, empresas, SENA						Evaluada como parte de C9					
C9. Programa Integral de Inspección de Emisiones y mantenimiento vehicular	Secretarías de Movilidad municipales, Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente, CDA, SENA						256	1,038	34	972	151	314,714
C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente	Secretarías de Movilidad, Secretarías de Ambiente Municipal, Área Metropolitana del Valle de Aburrá						0	0	0	30	3	16,481
C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero	Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente, Ministerio de Comercio, Secretarías de Movilidad, Área Metropolitana del Valle de Aburrá						74	523	47	971	7	305,169
C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (FDP) y otras tecnologías certificadas de prevención de emisiones y postratamiento de emisiones	Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Ministerio de Ambiente, Ministerio de Transporte, Secretarías de Movilidad Municipal						40	0	0	0	26	0
C13. Obras de infraestructura con alto y positivo impacto ambiental y en la movilidad	Secretarías de Infraestructura Física municipales						Evaluada como parte de C15					
C14. Fomento a la renovación del parque vehicular mediante el Pico y Placa Ambiental y las restricciones que se derivan de la implementación del POECA	Secretarías de Movilidad Municipal, Área Metropolitana del Valle de Aburrá						Evaluada como parte de C15					
C15. Política de gestión de la demanda	Secretarías de Movilidad municipales, Área Metropolitana del Valle de Aburrá						343	1,936	0	3,573	34	1,579,381
C16. Gestión Integral de la Logística del Transporte de Carga y Volquetas en el Valle de Aburrá	Secretarías de Movilidad municipales, Área Metropolitana del Valle de Aburrá						186	260	2	462	125	40,953

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)					
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂
Subtotal Eje							4,311	17,105	757	16,253	2,467	2,870,760

	Diseño/Planeación/Concertación
	Ejecución/Implementación

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)					
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂
Eje Temático 4: Transformar el modelo de movilidad hacia la promoción y priorización de modos de transporte activo y de ultra bajas emisiones												
D1. Políticas y programas orientados mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá	Secretarías de Movilidad, Secretarías de Planeación municipales, Área Metropolitana del Valle de Aburrá											
D2. Ampliación, conectividad e integración de la red de infraestructura para la bicicleta	Secretarías de Movilidad, Secretarías de Planeación Municipal, Área Metropolitana del Valle de Aburrá											
D3. Mejoras en equipamiento de la ciudad para promover la movilidad activa	Secretarías de Movilidad, Secretarías de Planeación Municipal, Área Metropolitana del Valle de Aburrá						17	210	17	180	2	118,156
D4. Promoción del uso de la bicicleta mediante la disponibilidad de un sistema de bicicletas públicas integrado al SITVA	Secretarías de Movilidad, Secretarías de Planeación Municipal, Área Metropolitana del Valle de Aburrá											
D5. Promoción, educación y cultura de la movilidad activa	Secretarías de Movilidad Municipal, Área Metropolitana del Valle de Aburrá											
D6. Promoción de acciones orientadas a la regulación del uso del vehículo particular	Secretarías de Movilidad municipales, Área Metropolitana del Valle de Aburrá											
Subtotal Eje							17	210	17	180	2	118,156

	Diseño/Planeación/Concertación
	Ejecución/Implementación

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)					
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂
Eje Temático 5: Industria y servicios competitiva y de bajas emisiones												
E1. Establecimiento hacia el año	Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Agremiaciones Industriales						Estrategia Integral abarca las medidas del eje estratégico					

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)						
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂	
2030, de una política integral de desarrollo de Bajas Emisiones													
E2. Optimización de Sistemas de Control de Emisiones	Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Agremiaciones Industriales						336	0	0	0	36	0	
E3. Estándares de emisión más estrictos para fuentes fijas	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Área Metropolitana del Valle de Aburrá						126	0	0	0	7	0	
E4. Mejora del desempeño ambiental y energético de la industria	Área Metropolitana del Valle de Aburrá						49	363	357	102	3	156,762	
E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión Y E5b. Instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina a lo largo del proceso de almacenamiento, transporte y suministro	Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Agremiaciones Industriales						51	0	0	1,533	0	0	
E6. Restringir la instalación nuevas fuentes fijas en zonas sensibles	Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Secretarías de Planeación Municipales						Evaluada como parte de B1						
E7. Mejorar proceso de legalización y control de actividades de extracción, manejo y disposición de materiales de construcción	Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
E8. Requerimiento de instalación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones en fuentes fijas	Agremiaciones industriales						Evaluada como parte de E4						

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)					
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NOx	SO ₂	VOC	BC	CO ₂
E9. Implementación de Planes Empresariales de Movilidad Sostenible-Planes MES	Agremiaciones Industriales, empresas, organizaciones e instituciones						Evaluada como parte de C15					
Subtotal Eje							562	363	357	1,634	46	156,762

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)					
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NOx	SO ₂	VOC	BC	CO ₂
Eje Temático 6: Incremento de espacios verdes y arbolado urbano y protección de ecosistemas regionales												
F1. Protección y ampliación del arbolado urbano	Secretarías de Planeación Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
F2. Espacio público verde, Corredores verdes y Cinturón verde	Secretarías de Planeación Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Secretarías de Infraestructura Física						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
F3. Ampliación del perímetro urbano para efectos ambientales	Secretarías de Planeación Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Secretarías de Infraestructura Física						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
F4. Parque Central de Antioquia	Secretarías de Planeación Alcaldía de Medellín						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
F5. BanCO2 Metropolitano	Secretarías de Hacienda Municipales, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Banca Privada						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Subtotal Eje							0	0	0	0	0	0

	Diseño/Planeación/Concertación
	Ejecución/Implementación

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)					
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NOx	SO ₂	VOC	BC	CO ₂
Eje Temático 7: Efectividad y cobertura en el control y sanciones a agentes contaminantes												
G1. Incrementar la capacidad de control de fuentes móviles	Secretarías de Movilidad Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
G2. Programa de Detección Remota de Emisiones (DRE) vehicular en vía	Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
G3 Fortalecer acciones de prevención y control de emisiones generadas por fuentes fijas	Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Subtotal Eje							0	0	0	0	0	0

	Diseño/Planeación/Concertación
--	--------------------------------

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones (ton/año)						
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂	
	Ejecución/Implementación												

Medida	Responsable Implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones Año 2030 (ton/año)						
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂	
Eje Temático 8: Atención oportuna y eficaz a episodios de contaminación del aire													
H1. Fortalecimiento de los mecanismos de actuación del POECA	Área Metropolitana del Valle de Aburrá, SIATA, alcaldías municipales						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
H2. Inclusión del escenario de riesgo por contaminación atmosférica en los Planes Municipales de Gestión del Riesgo	Área Metropolitana del Valle de Aburrá, SIATA, alcaldías municipales						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Subtotal Eje							0	0	0	0	0	0	0

	Diseño/Planeación/Concertación
	Ejecución/Implementación

Medida	Responsable implementación	Avance y desarrollo					Reducción de emisiones Año 2030 (ton/año)						
		2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂	
Eje Temático 9: Protección y transformación de zonas sensibles a la contaminación													
I1. Creación de zonas de baja emisión y zonas de circulación restringida en áreas estratégicas del Valle de Aburrá	Secretarías de Planeación Municipal						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
I2. Creación de zonas protegidas para reducir la exposición a la contaminación atmosférica	Secretarías de Planeación Área Metropolitana del Valle de Aburrá						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Subtotal Eje							0	0	0	0	0	0	0

	Diseño/Planeación/Concertación
	Ejecución/Implementación

Avance y desarrollo	Reducción de emisiones Año 2030 (ton/año)
---------------------	---

Medida	Responsable implementación	2017	2019	2023	2027	2030	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	VOC	BC	CO ₂
Eje Temático 10: Sistema de cargas y beneficios a agentes en función de su aporte positivo o negativo a la calidad del aire												
J1. Establecimiento de beneficios y cargas	Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público						N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Subtotal Eje							0	0	0	0	0	0

	Diseño/Planeación/Concertación
	Ejecución/Implementación

En el capítulo siguiente se describe el proceso analítico desarrollado para determinar el impacto del PIGECA en términos de estimación del potencial de reducción de emisiones; mejora de la calidad del aire; evaluación de efectos a la salud evitados y valoración económica de beneficios asociados a la reducción de efectos en salud.

7 ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL PLAN

Las medidas propuestas en el PIGECA persiguen el objetivo de salvaguardar la salud pública y proteger el bienestar de la población a través de un esfuerzo sistemático y de alto impacto para mejorar la calidad del aire en el Valle de Aburrá. Los objetivos, metas y líneas estratégicas del PIGECA planteados en el capítulo 6, promueven una transformación estructural de la movilidad y la industria en el Valle de Aburrá hacia modelos más sostenibles y eficientes que desembocan en menores emisiones al ambiente, la mejora de la calidad del aire y la protección de la salud de la población, además de otros múltiples beneficios al ambiente, la sociedad y la economía, a través de esfuerzos y resultados de corto, mediano y largo plazo.

En este capítulo se presentan los resultados de la evaluación del impacto de la implementación del PIGECA del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en términos de reducción de emisiones y mejora de la calidad del aire, así como de protección a la salud y reducción de costos asociados. Esta evaluación está enfocada en cuatro componentes principales: 1) estimación del potencial de reducción de emisiones de material particulado; 2) modelación de los impactos sobre la mejora de la calidad del aire asociada con dichas reducciones; 3) evaluación de beneficios en salud y finalmente 4) valoración económica de los beneficios de la implementación del plan.

Estimación del potencial de reducción de emisiones por la implementación del PIGECA

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá enfrenta grandes desafíos que son comunes a los centros urbanos en desarrollo, tales como una tendencia creciente en sus emisiones. Las dinámicas de crecimiento económico y poblacional, el crecimiento de la actividad económica, el incremento las tasas de motorización y de la demanda de movilidad de personas y carga se traducen en un aumento en la quema de combustibles fósiles y, consecuentemente, en el crecimiento de las emisiones contaminantes criterio y de gases de efecto invernadero.

La implementación de las medidas del PIGECA tiene el potencial para transformar los patrones de desarrollo en la región, permitiendo que éste ocurra de forma sostenible, manteniendo la productividad y el desarrollo y cambiando las tendencias de crecimiento en las emisiones. En la siguiente sección se presenta una estimación de la línea base de emisión, la cual muestra el comportamiento que tendrían dichas emisiones en el Valle de Aburrá en ausencia del PIGECA.

Línea base de emisión en el Valle de Aburrá

Para la estimación de la línea base de emisión se realizaron análisis diferenciados de los factores de crecimiento de las emisiones de contaminantes provenientes del transporte y la industria para el

periodo 2015-2030, partiendo de los resultados del Inventario de Emisiones Atmosféricas del 2015 (AMVA - UPB, 2016) .

En el caso de las emisiones del sector transporte el análisis incluyó: a) el análisis de las características del parque automotor del Área Metropolitana, las tasas de motorización de la región y sus perspectivas de crecimiento; b) la proyección del crecimiento en la demanda de viajes y variación del reparto modal de estos viajes; c) estudios de prospectivas sectoriales para la proyección de ventas de motos, automóviles y transporte de carga en el país y la participación del Valle de Aburrá en estas ventas; d) implementación de estándares de emisión proyectados en el país actualmente incluidos en la normatividad; y e) las tasas naturales de renovación de vehículos antiguos.

Por su parte, las emisiones provenientes del sector industrial fueron estimadas considerando: 1) el análisis de las características de uso de energía sectorial, incluyendo el uso de combustibles, la intensidad energética y la matriz energética; 2) el grado de penetración de tecnologías de control de emisiones y las perspectivas de modernización tecnológica sectorial, y 3) las perspectivas de crecimiento económico sectorial a partir de la información económica disponible.

Las variables analizadas fueron incorporadas en los modelos usados en el inventario de emisiones para realizar la estimación para el periodo de análisis. Los resultados de las líneas bases de emisión, así como los criterios y factores usados en su estimación fueron analizados en contexto con otras estimaciones realizadas en el país, incluyendo los resultados de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono. La línea base de emisiones incluye la estimación de las emisiones de PM_{2.5}, NO_x, SO_x, compuestos orgánicos volátiles, carbono negro y CO₂.

En las siguientes figuras se muestra el crecimiento proyectado de la línea base de emisiones para los diferentes contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero en el Valle de Aburrá, en el período 2015-2030. Esta línea base se considera como el escenario *Business-as-usual* (BAU), para expresar el escenario en el que no se intervienen los criterios de crecimiento de las emisiones.

El crecimiento proyectado para las emisiones de PM_{2.5} alcanza las 5.862 toneladas al año. Esto representa tres veces las emisiones del año 2015 (ver Figura 117). Por su parte, las emisiones de CO₂ podrían alcanzar los 8.4 millones de toneladas anuales; duplicando las emisiones actuales (ver Figura 118). Por su parte en este periodo de tiempo, las emisiones de NO_x incrementan en 53%, SO_x en 87%, y VOC en 76% (ver Figura 119, Figura 120 y Figura 121). De manera similar al PM_{2.5}, las emisiones de carbono negro se multiplican por tres en el periodo de análisis (ver Figura 122).

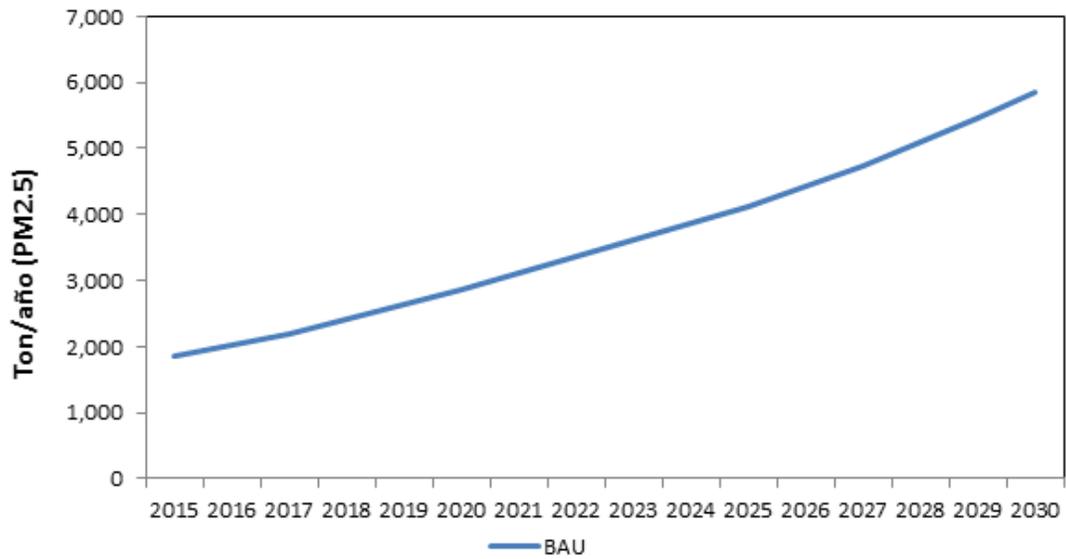


Figura 117. Línea base de emisiones de PM_{2.5}. Periodo 2015 – 2030

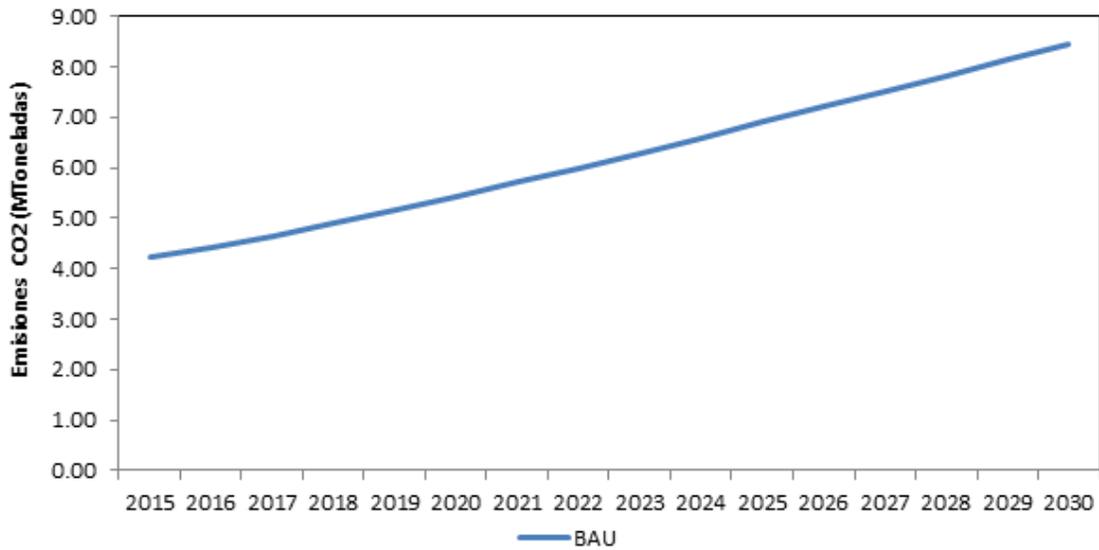


Figura 118. Línea base de emisiones de CO₂. Periodo 2015 – 2030

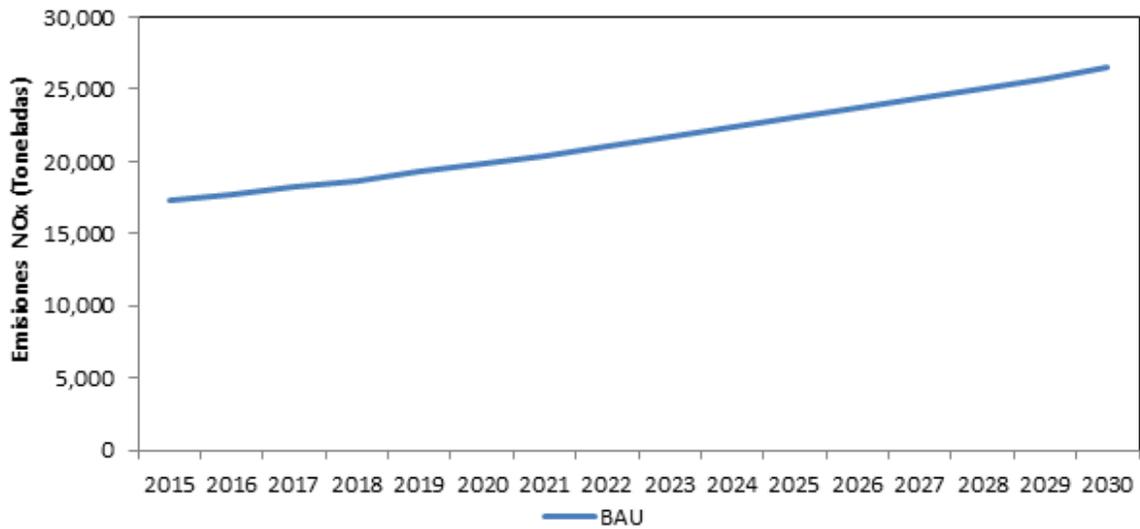


Figura 119. Línea base de emisiones de NOx. Periodo 2015 – 2030

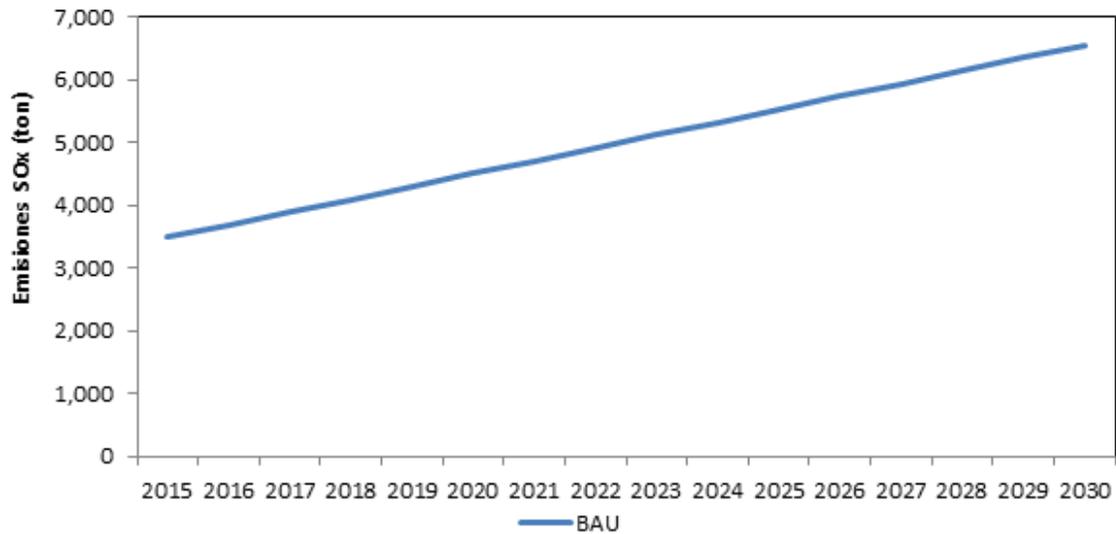


Figura 120. Línea base de emisiones de SOx. Periodo 2015 – 2030

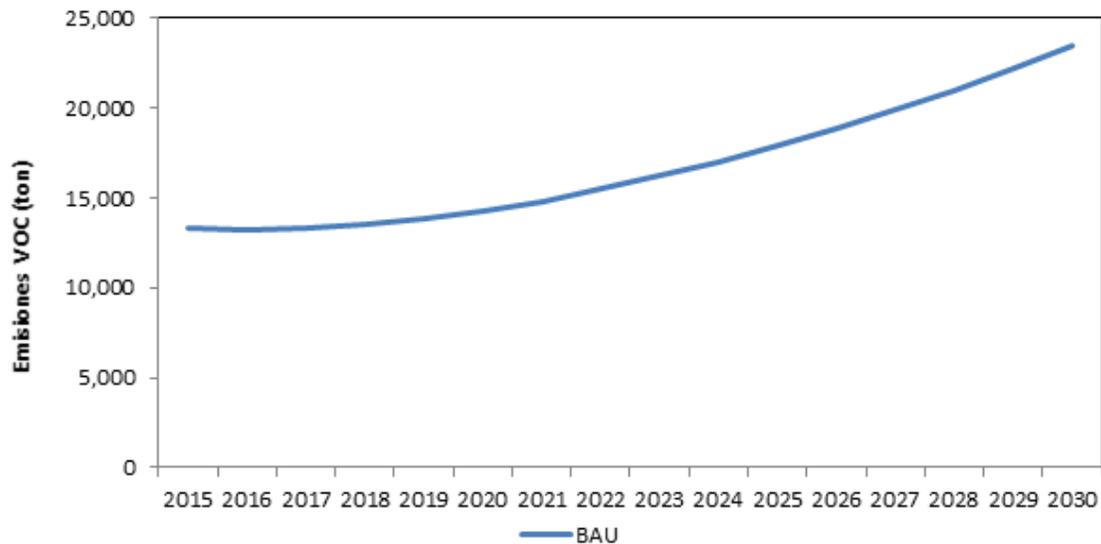


Figura 121. Línea base de emisiones de VOC. Periodo 2015 – 2030

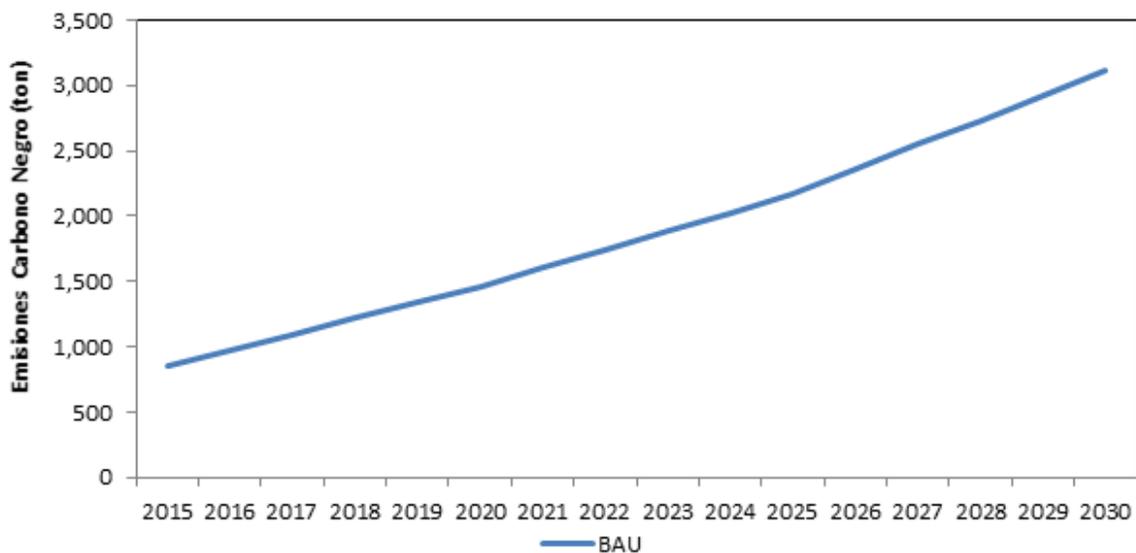


Figura 122. Línea base de emisiones de carbono negro. Periodo 2015 – 2030

Dada la importancia del $PM_{2.5}$ para la gestión de la calidad del aire en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se realiza un análisis detallado de la contribución sectorial de emisiones de este contaminante. Del mismo modo, teniendo en cuenta los compromisos del país para la reducción de gases de efecto invernadero, se incluye también el análisis detallado para las emisiones de CO_2 .

Como puede observarse en el análisis por tipo de fuente, la mayor preponderancia en la emisión directa de $PM_{2.5}$ y CO_2 se encuentra representada por las fuentes móviles. Para el año 2030, se estima que el sector transporte contribuya con el 87,5% de las emisiones directas de $PM_{2.5}$ y el 74,6% de las emisiones de CO_2 . Tal como se discutió en el análisis de fuerzas motrices y a lo largo de este documento, las emisiones del sector transporte incluyen desplazamientos por actividades laborales, académicas, así como el transporte de mercancías, actividades relacionadas con los sectores industrial, comercial y de servicios. En este sentido, la reducción de las emisiones requiere la acción coordinada de todos ellos.

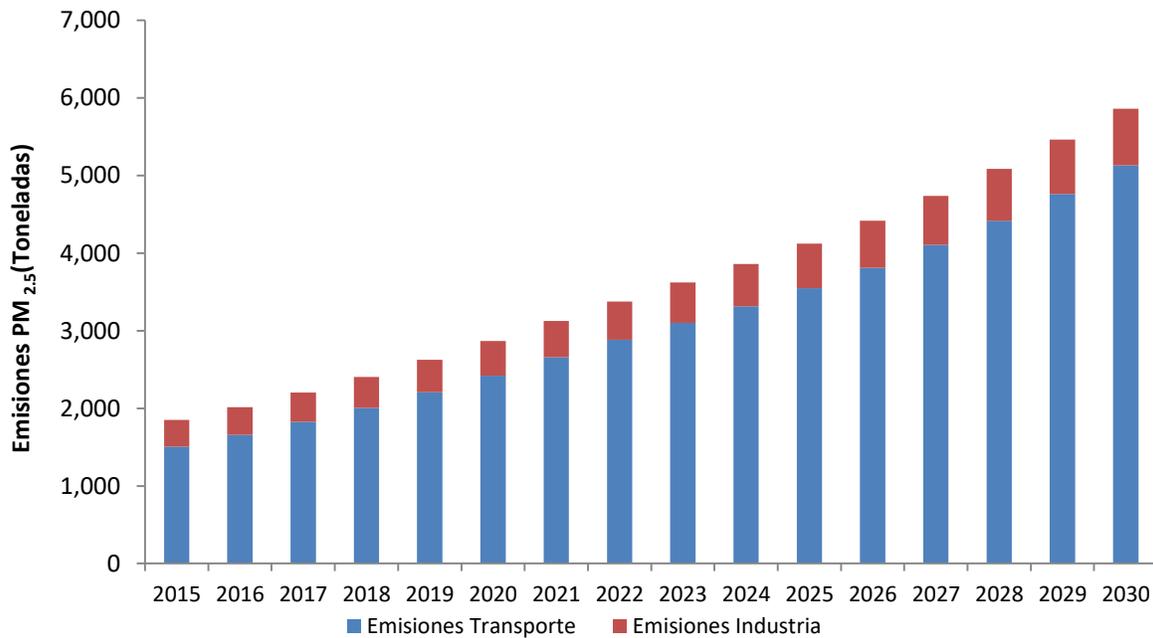


Figura 123. Crecimiento de las emisiones de $PM_{2.5}$ por tipo de fuente. Periodo 2015– 2030

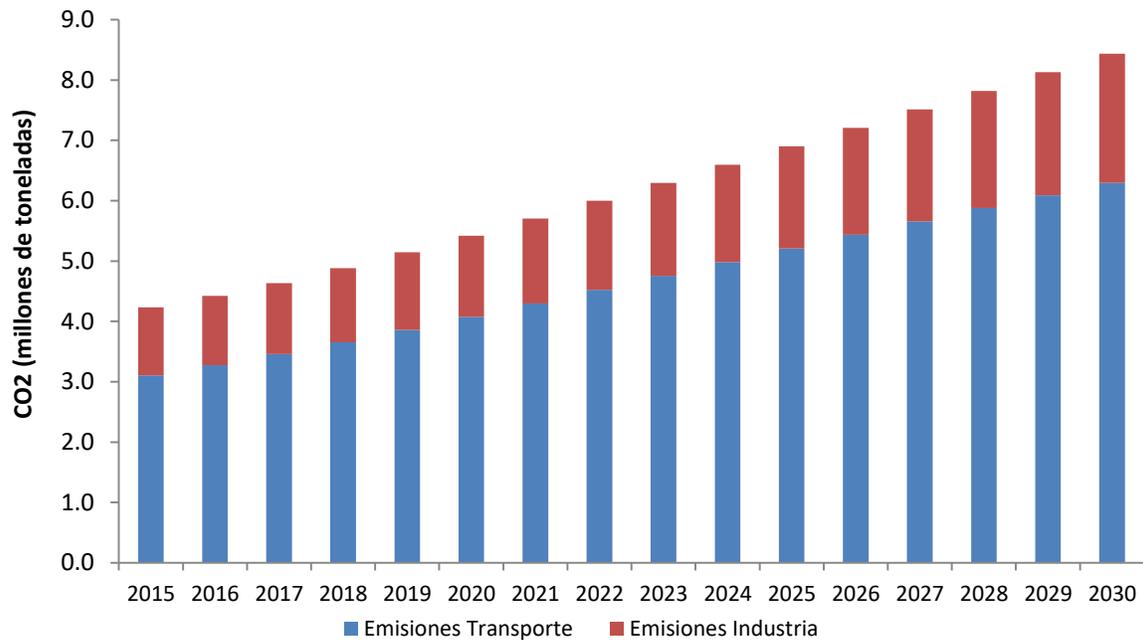


Figura 124. Crecimiento de las emisiones de CO₂ por tipo de fuente. Periodo 2016 – 2030

A continuación se presenta la distribución por categoría de las emisiones de PM_{2.5} y CO₂ para el transporte y la industria. Este análisis diferenciado permite identificar la contribución sectorial a las emisiones. En la Figura 125 y la Figura 126 se presenta la distribución por categorías de transporte para las emisiones de PM_{2.5} y CO₂ en el periodo de análisis. En la Figura 127 y Figura 128 se presentan estos resultados para fuentes industriales.

El análisis muestra que el mayor crecimiento en las emisiones se encuentra relacionado con las categorías del sector carga (camiones y volquetas). Este crecimiento se asocia principalmente al crecimiento económico y del sector construcción, así como a bajas tasas de recambio tecnológico en estos vehículos. Es importante señalar que para el periodo de análisis las otras categorías vehiculares también aumentan sus emisiones por lo cual es importante mantener un enfoque integral en la aplicación del PIGECA. Los sectores de autos, taxis y motos de 4 tiempos duplican su emisión en el periodo de análisis, mientras que el transporte público multiplica por cuatro sus emisiones en el escenario de la línea base. Metroplús, operado a gas natural no presenta emisiones significativas de PM_{2.5}. Por su parte, se anticipa que las motos de 2 tiempos dejarán de circular en el Área Metropolitana por modernización tecnológica.

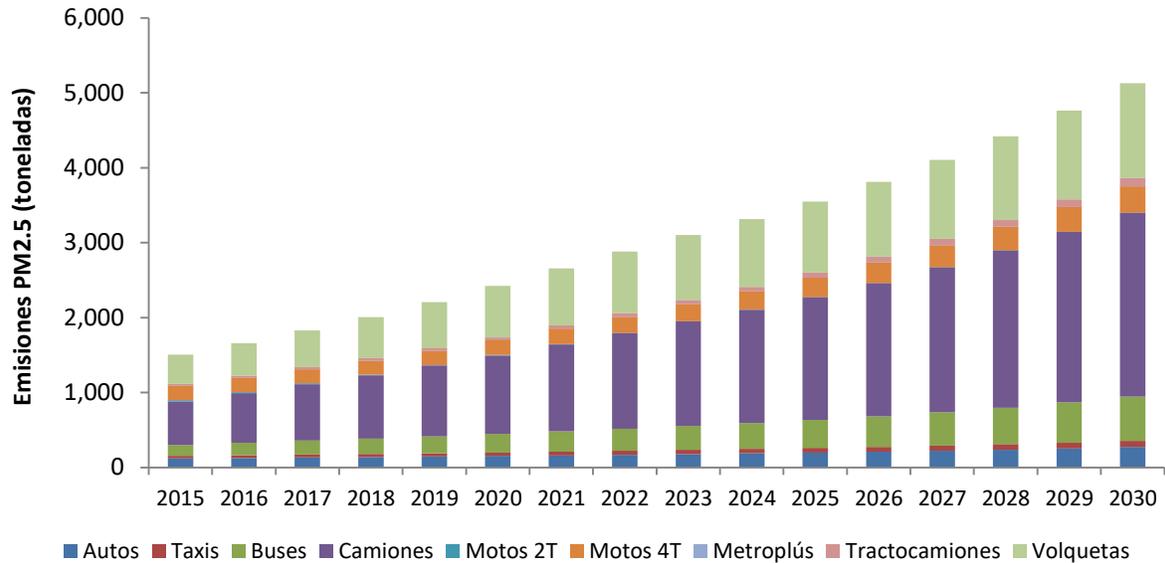


Figura 125. Crecimiento de las emisiones de PM_{2.5} del sector transporte por tipo de fuente. Periodo 2015 – 2030

En el caso del CO₂ la principal contribución a la emisión es de los vehículos particulares, que aumentan en 1.5 veces sus emisiones en el periodo de análisis, contribuyendo con el 33% de las emisiones al año 2030. Se espera que la contribución de los camiones alcance el 20% de las emisiones de CO₂; mientras que se anticipa que las motos, que aumentan sus emisiones por 4 durante el periodo de análisis, representen el 17% de la emisión de CO₂ al año 2030.

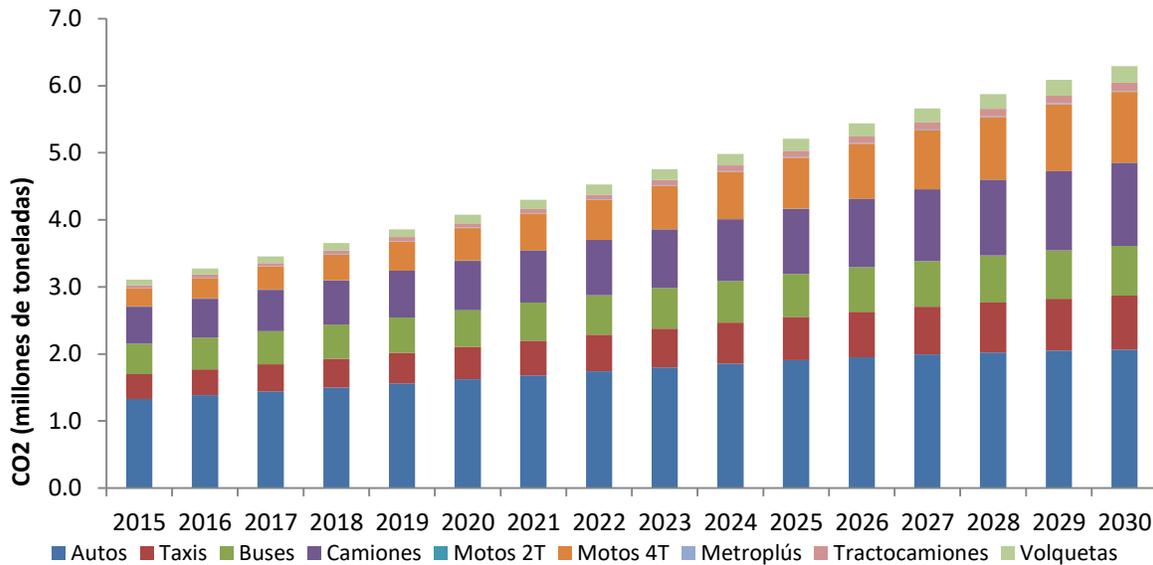
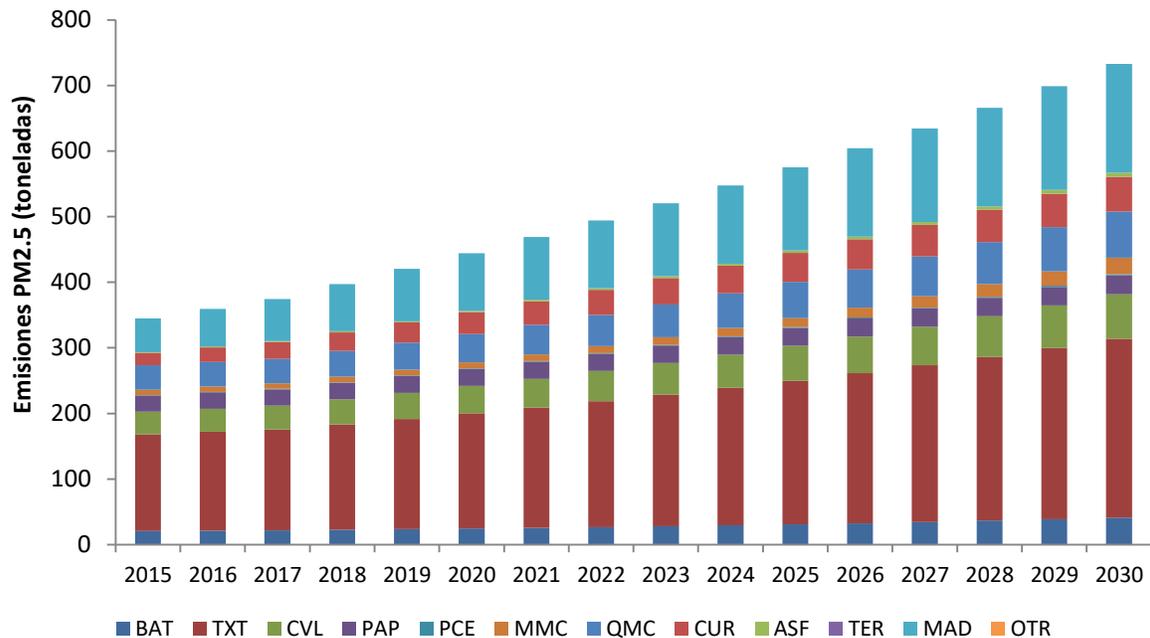


Figura 126. Crecimiento de las emisiones de CO2 del sector transporte por tipo de fuente. Periodo 2015 – 2030

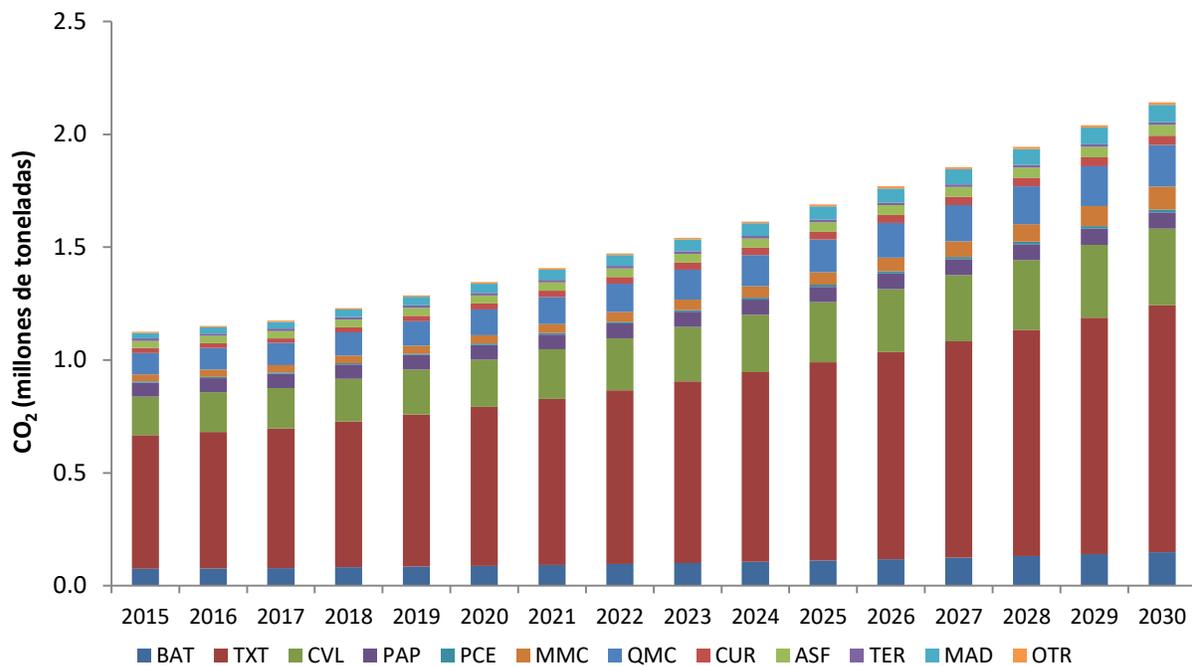
En el caso de las emisiones de PM_{2.5} del sector industrial (ver Figura 127), la mayor contribución sectorial de emisiones directas corresponde al sector textil (37,2% de las emisiones), y al sector maderero (22,6% de las emisiones). Estas se asocian principalmente a los combustibles predominantes en estos sectores (carbón y biomasa respectivamente). Más allá, todos los sectores presentan un aumento en sus emisiones en el periodo de análisis. Las emisiones directas del sector servicio y otros no se consideran significativas.



BAT: bebidas, alimentos y tabaco TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico; QMC: químico; CUR: cuero; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; OTR: otras industrias.

Figura 127. Crecimiento de las emisiones de PM_{2.5} del sector industrial por tipo de fuente. Periodo 2016 – 2030

En el caso de las emisiones de CO₂ la principal contribución se asocia con el sector textil (51,1% de las emisiones al año 2030) seguida del sector de cerámica y vítreos. Todos los sectores presentan incremento en sus emisiones durante el periodo de análisis.



BAT: bebidas, alimentos y tabaco TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico; QMC: químico; CUR: cuero; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserrios, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; OTR: otras industrias

Figura 128. Crecimiento de las emisiones de CO₂ del sector industrial por tipo de fuente. Periodo 2016 – 2030

Estimación de reducción de emisiones

Discriminar por fuente de emisiones (vehículos e industrias), cuánto debería ser la disminución en las emisiones durante el periodo del PIGECA, para cumplir con las proyecciones de la tabla 8.

La estimación del potencial de reducción de emisiones se realizó teniendo en cuenta: 1) la identificación del potencial de cambio en la actividad, y emisión de los sectores y categorías del inventario a partir de las medidas propuestas; 2) la identificación de criterios de evaluación para la determinación del potencial de reducción a partir de información bibliográfica, y consulta con paneles de especialistas; 3) los resultados del proceso de consulta participativa con especialistas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, representantes sectoriales y la academia, y 4) la gradualidad y fechas de aplicación definidas para cada medida. La modelación de la reducción de emisiones, se realizó usando los métodos del inventario de emisiones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá incluyendo el uso del modelo IVE.

En la Figura 129 se presentan los resultados de la estimación de reducción de emisiones de $PM_{2.5}$ por la implementación del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, PIGECA. Estas reducciones representan las metas de reducción de emisión de $PM_{2.5}$ en el PIGECA. En la misma figura se presentan las metas intermedias para los años 2019, 2023, 2027 y 2030.

La reducción de emisiones por la implementación del plan se evalúa en comparación con las tendencias de crecimiento en las emisiones de la línea base. De esto modo, al considerar los factores de crecimiento de las emisiones, la evaluación de las reducciones representa la magnitud del desafío de la región, no solamente reducir emisiones frente al año base, sino cambiar las tendencias de crecimiento para el periodo de análisis.

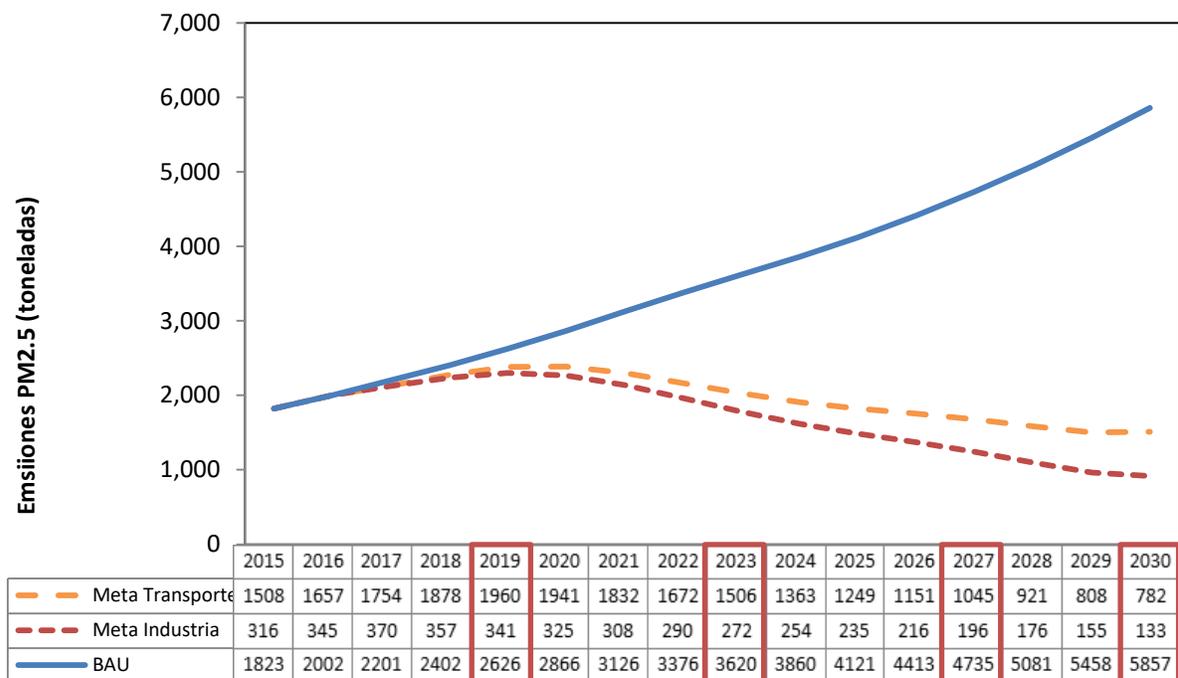


Figura 129. Metas de reducción de emisiones de $PM_{2.5}$. Escenario de Implementación del Plan

De acuerdo con las estimaciones, la implementación del Plan permitiría revertir la tendencia de crecimiento de las emisiones en el Valle de Aburrá, alcanzando en el año 2030 emisiones de 915 toneladas al año de $PM_{2.5}$. Este nivel de emisiones representa una reducción del 49% frente a las emisiones del año base 2015, ajustado a los objetivos de calidad del aire del Plan. En la Tabla 24 se presentan las metas de reducción para los años de implementación del Plan. Para el año 2019, el PIGECA tiene el potencial de reducir en un 12% las emisiones de partículas frente a la línea base.

**Tabla 24. Metas de Reducción de emisiones de PM_{2.5} por la implementación del Plan (2016 – 2030)
(toneladas frente a la línea base)**

ESCENARIO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Emisiones BAU	1,823	2,002	2,201	2,402	2,626	2,866	3,126	3,376	3,620	3,860	4,121	4,413	4,735	5,081	5,458	5,857
Emisiones Plan	1,823	2,002	2,125	2,235	2,301	2,265	2,139	1,963	1,779	1,617	1,484	1,367	1,242	1,097	963	915
Reducciones fuentes móviles	0	0	73	127	246	481	826	1,210	1,595	1,951	2,298	2,661	3,059	3,498	3,955	4,347
Reducciones fuentes fijas	0	0	4	40	79	119	160	203	246	292	338	385	435	486	540	595
Reducción total	0	0	77	167	325	600	986	1,413	1,841	2,243	2,636	3,046	3,494	3,984	4,495	4,942

En la Figura 130 se presentan los resultados de la evaluación del potencial de reducción de emisiones de NO_x por la implementación del Plan. De acuerdo con los resultados, las medidas del PIGECA tienen el potencial de reducir en un 64% las emisiones de este contaminante en comparación con la línea base. Esta reducción equivale a 17.054 toneladas de NO_x para el año 2030, representando una reducción del 80% de las emisiones del sector transporte y 7% de las fuentes industriales.

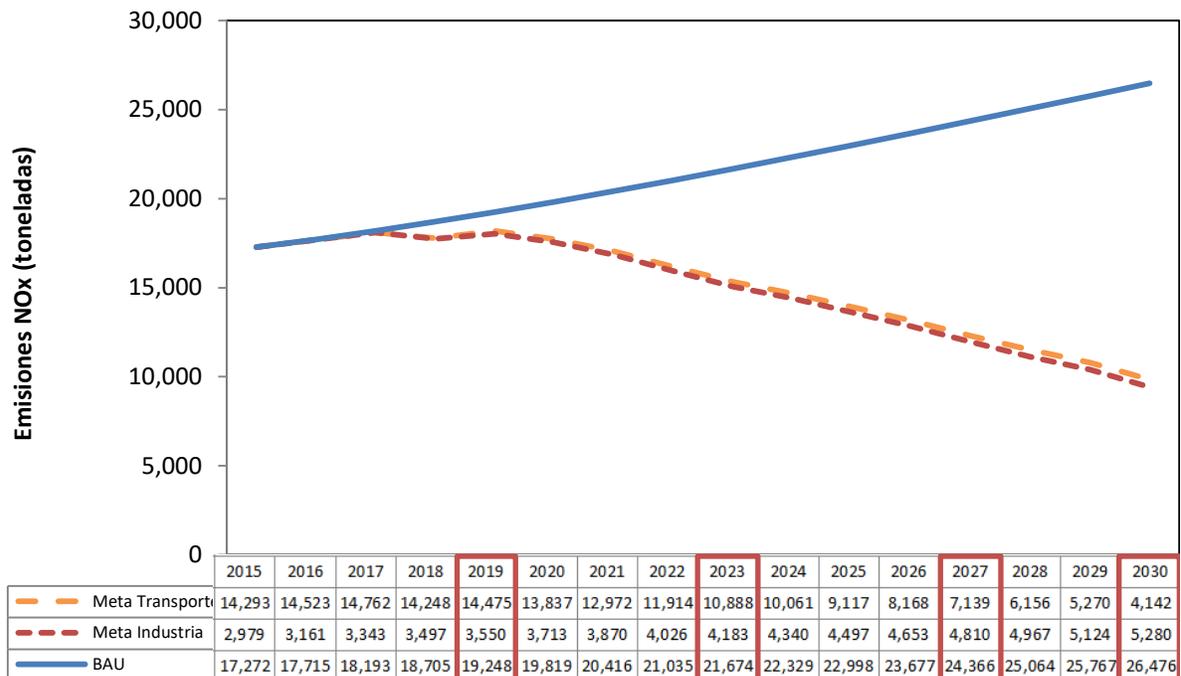


Figura 130. Metas de reducción de emisiones de NO_x- Escenario de implementación del Plan

Las reducciones en la emisión de NO_x es importante toda vez que este gas es precursor de la formación de ozono y de material particulado menor de 2.5 micras secundario. La reducción de las emisiones de

NOx contribuye entonces al cumplimiento de los objetivos de concentración de partículas y ozono. En la Tabla 25 se presentan las metas de reducción para los años de implementación del Plan.

Tabla 25. Metas de reducción de emisiones de NOx por la implementación del Plan (2016 – 2030) – toneladas frente al año base

ESCENARIO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Emisiones BAU	17,272	17,715	18,193	18,705	19,248	19,819	20,416	21,035	21,674	22,329	22,998	23,677	24,366	25,064	25,767	26,476
Emisiones Plan	17,272	17,684	18,105	17,745	18,025	17,550	16,842	15,940	15,071	14,401	13,614	12,821	11,949	11,123	10,394	9,422
Reducciones fuentes móviles	0	31	88	932	1,067	2,094	3,374	4,870	6,352	7,652	9,083	10,529	12,065	13,564	14,972	16,627
Reducciones fuentes fijas	0	0	0	28	157	175	201	226	251	276	301	326	351	376	401	427
Reducción total	0	31	88	960	1,224	2,270	3,574	5,095	6,603	7,928	9,384	10,856	12,417	13,940	15,374	17,054

En la Figura 131 se presentan los resultados de la evaluación del potencial de reducción de emisiones de SOx por la implementación del Plan. De acuerdo con los resultados, las medidas del PIGECA tienen el potencial de reducir en un 16% las emisiones de este contaminante en comparación con la línea base. Esta reducción equivale a 1.050 toneladas de SO_x para el año 2030, representando una reducción del 83% de las emisiones del sector transporte y 8% de las fuentes industriales.

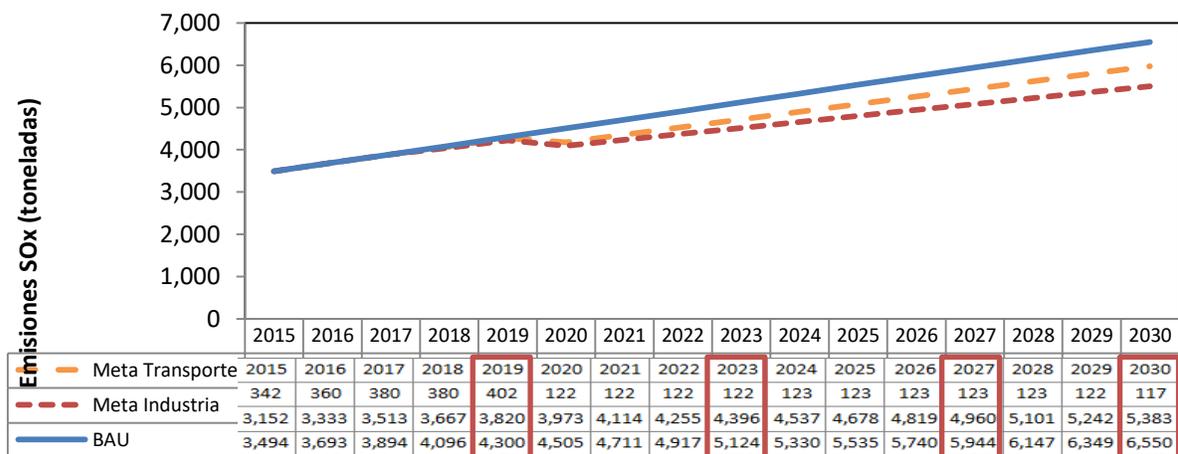


Figura 131. Metas de reducción de emisiones de SO₂- Escenario de implementación del Plan

Vale la pena resaltar que las reducciones de SO₂ en el sector industrial están asociadas principalmente con acciones de mejora de eficiencia energética y control de la combustión. No obstante las emisiones de SO₂ dependen fundamentalmente del azufre contenido en los combustibles. El carbón que aún se utiliza en una alta proporción de la industria tiene un elevado contenido de azufre. Por ello es conveniente considerar la posibilidad de incluir la sustitución del carbón e introducir procesos de lavado

del carbón como parte del Plan, lo cual tendría un impacto significativo para lograr mayores reducciones. Las reducciones en la emisión de SO₂ son importantes toda vez que este gas es precursor de la formación de material particulado PM_{2.5} secundario. La reducción de las emisiones de SO₂ contribuye entonces al cumplimiento de los objetivos de concentración de partículas. En la Tabla 26 se presentan las metas de reducción para los años de implementación del plan.

Tabla 26. Metas de reducción de emisiones de SO₂ por la implementación del Plan (2016 – 2030) – Toneladas frente al año base

ESCENARIO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Emisiones BAU	3,494	3,693	3,894	4,096	4,300	4,505	4,711	4,917	5,124	5,330	5,535	5,740	5,944	6,147	6,349	6,550
Emisiones Plan	3,494	3,692	3,893	4,047	4,221	4,095	4,236	4,377	4,518	4,660	4,801	4,942	5,083	5,223	5,364	5,500
Reducciones fuentes móviles	0	0	0	22	24	328	353	379	404	429	453	477	501	524	546	571
Reducciones fuentes fijas	0	0	0	27	55	82	122	162	201	241	281	321	360	400	440	479
Reducción total	0	0	0	49	79	411	475	540	605	670	734	798	861	924	985	1,050

En la Figura 132 se presentan los resultados de la evaluación del potencial de reducción de emisiones de VOC por la implementación del Plan. De acuerdo con los resultados, las medidas del PIGECA tienen el potencial de reducir en un 77% las emisiones de este contaminante en comparación con la línea base. Esta reducción equivale a 18.012 toneladas para el año 2030, representando una reducción del 84% de las emisiones del sector transporte y 42% de las fuentes industriales.

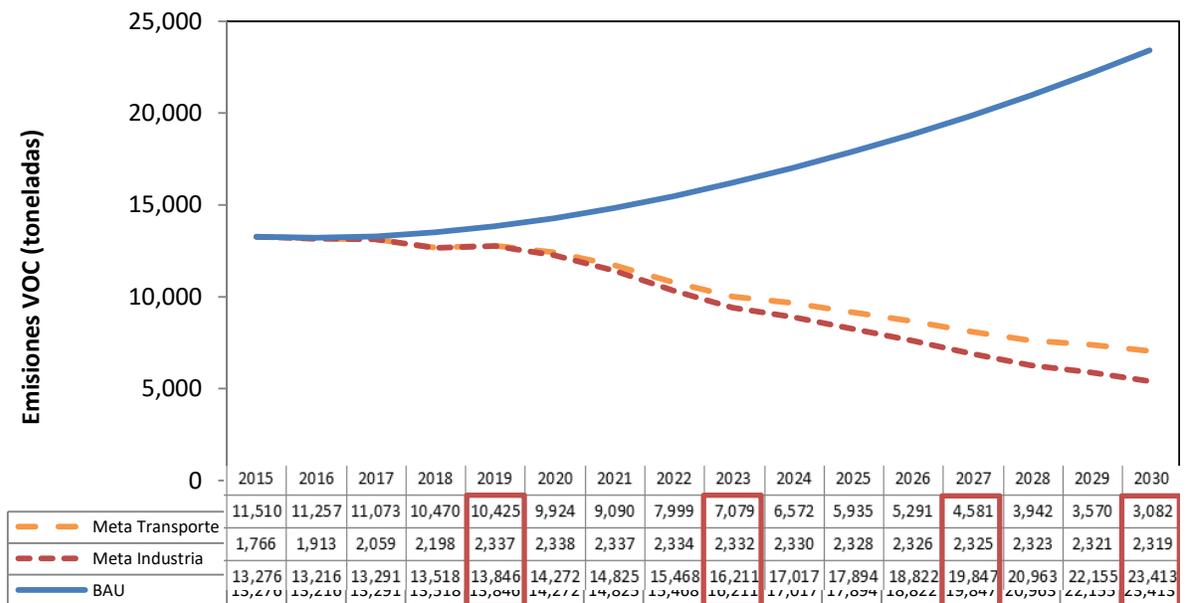


Figura 132. Metas de reducción de emisiones de VOC - Escenario de implementación del Plan

Las reducciones en la emisión de VOC son importantes toda vez que estos compuestos son precursores de la formación de ozono y de PM_{2.5} secundario. La reducción de las emisiones de VOC contribuye entonces al cumplimiento de los objetivos de concentración de ozono y de PM_{2.5}. En la Tabla 27 se presentan las metas de reducción para los años de implementación del plan.

Tabla 27. Metas de Reducción de emisiones de VOC por la implementación del Plan (2016 – 2030) – toneladas frente al año base.

ESCENARIO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Emisiones BAU	13,276	13,216	13,291	13,518	13,846	14,272	14,825	15,468	16,211	17,017	17,894	18,822	19,847	20,963	22,155	23,413
Emisiones Plan	13,276	13,170	13,132	12,668	12,762	12,261	11,427	10,333	9,411	8,902	8,264	7,617	6,905	6,265	5,891	5,401
Reducciones fuentes móviles	0	46	159	842	1,068	1,849	3,089	4,676	6,193	7,360	8,726	10,152	11,740	13,348	14,766	16,365
Reducciones fuentes fijas	0	0	0	8	16	162	309	459	607	756	904	1,053	1,201	1,350	1,499	1,647
Reducción total	0	46	159	850	1,084	2,011	3,398	5,135	6,801	8,115	9,630	11,205	12,941	14,698	16,264	18,012

En la Figura 133 se presentan los resultados de la evaluación del potencial de reducción de emisiones de carbono negro por la implementación del Plan. De acuerdo con los resultados, las medidas del PIGECA tienen el potencial de reducir en un 81% las emisiones de este contaminante en comparación con la línea base. Esta reducción equivale a 2.516 toneladas para el año 2030, representando una reducción del 81% de las emisiones del sector transporte y 83% de las fuentes industriales.

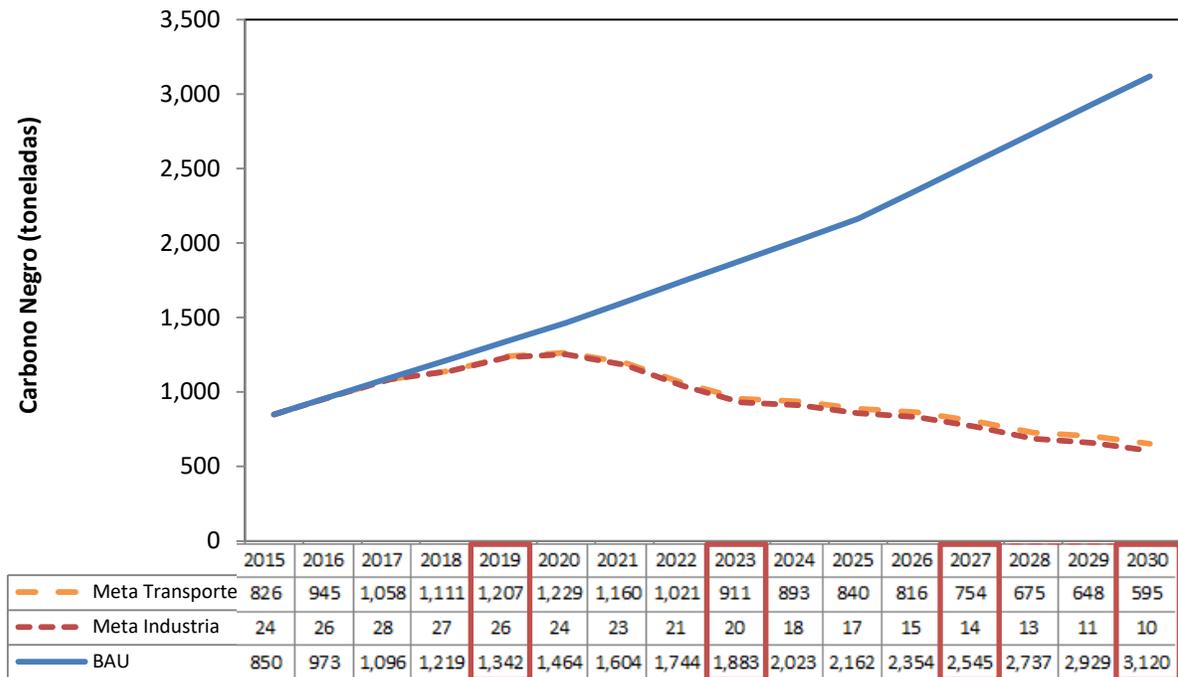


Figura 133. Metas de reducción de emisiones de Carbono Negro - Escenario de implementación del Plan

El carbono negro es un contaminante climático de vida corta, por lo cual contribuye al calentamiento global. Adicionalmente es un componente del material particulado, su reducción representa beneficios a la salud de la población. En la Tabla 28 se presentan las metas de reducción para los años de implementación del plan.

Tabla 28. Metas de reducción de emisiones de Carbono Negro por la implementación del Plan (2016 – 2030) – Toneladas frente al año base

ESCENARIO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Emisiones BAU	850	973	1,096	1,219	1,342	1,464	1,604	1,744	1,883	2,023	2,162	2,354	2,545	2,737	2,929	3,120
Emisiones Plan	850	972	1,086	1,138	1,232	1,254	1,183	1,042	931	911	857	831	768	687	659	605
Reducciones fuentes móviles	0	1	9	77	102	200	407	683	930	1,086	1,276	1,490	1,742	2,010	2,226	2,469
Reducciones fuentes fijas	0	0	0	4	7	11	14	18	22	25	29	33	36	40	44	47
Reducción total	0	1	9	80	109	211	421	701	952	1,111	1,305	1,523	1,778	2,050	2,269	2,516

En las secciones subsiguientes se presenta el análisis detallado del impacto en emisiones por la implementación de las medidas del plan en el transporte y la industria. Toda vez que el diseño de las medidas se realizó con el objetivo de la reducción de PM_{2.5}, el análisis detallado de la reducción sectorial se realiza para este contaminante.

Análisis sectorial de la reducción de emisiones – transporte

El sector transporte representa el mayor porcentaje de las emisiones directas de $PM_{2.5}$ y define en mayor medida el comportamiento de estas emisiones en la línea base del Plan. Una movilidad sostenible, segura y amable en el Valle de Aburrá requiere el fortalecimiento de los servicios de transporte público; el incremento de la eficiencia logística y ambiental del transporte de carga; la implementación de estrategias de gestión de la demanda para promover el uso racional de los vehículos particulares y motos; la inversión en infraestructura para la movilidad activa y la mejora de la seguridad y el incremento de la oferta de servicios y trámites virtuales.

En la Figura 134 se presenta la curva de reducción de emisiones con la implementación de las medidas de transporte. De acuerdo con las estimaciones realizadas la implementación conjunta de las medidas del plan permite cambiar las tendencias de crecimiento en emisiones, logrando reducir las emisiones directas de $PM_{2.5}$. La implementación del plan permitiría alcanzar en el año 2030 una emisión de 782 toneladas de $PM_{2.5}$ del sector transporte, esto representa una reducción de un 51% frente al año base 2015 y de un 84% frente a las emisiones del escenario tendencial del 2030.

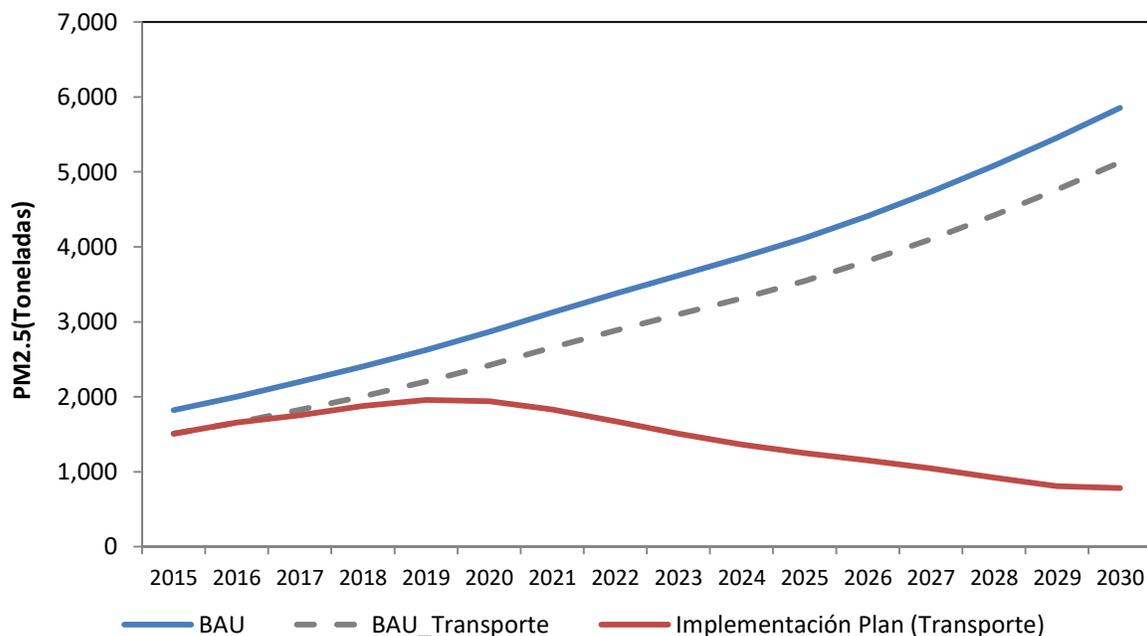


Figura 134. Reducción de emisiones de $PM_{2.5}$ por la implementación del Plan – Sector Transporte

En la Figura 135 se presenta el desglose por categoría de las emisiones de $PM_{2.5}$ del sector transporte durante la implementación del Plan. Como puede observarse se presentan reducciones en todas las

categorías de transporte. Un resumen de las reducciones que podrían alcanzarse al año 2030 para cada categoría, en comparación con las emisiones del año base (2015) se presenta a continuación:

Categoría	Reducción porcentual estimada
Vehículos particulares	77%
Taxis	12%
Motos 2 tiempos	100%
Motos 4 tiempos	72%
Transporte público de pasajeros	46%
Camiones	32%
Tractocamiones	64%
Volquetas	52%

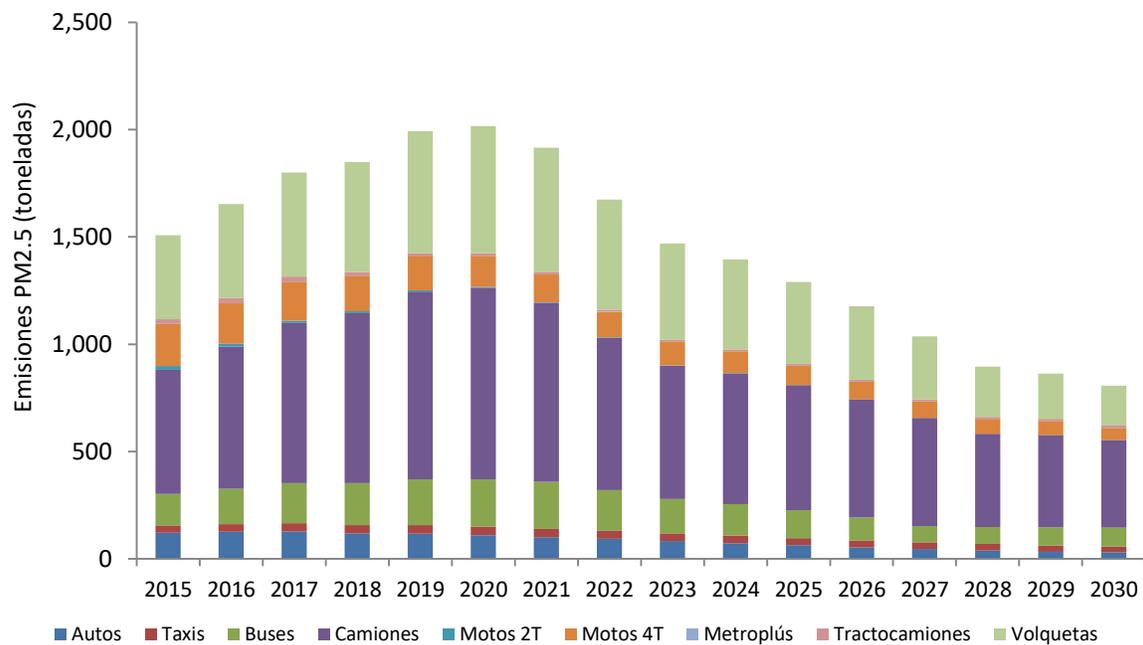


Figura 135. Emisiones de PM 2.5 por categorías de - Implementación del Plan - Sector Transporte

Compromisos de reducción sectorial de PM_{2.5} – Transporte

Las diferentes categorías del transporte reflejan la participación de diversos actores relacionados con la movilidad. El hecho de que se observen reducciones en todas las categorías, implica también que se requiere la participación articulada de estos actores para lograr la reducción de emisiones en el sector.

Estos actores incluyen: 1) fabricantes y comercializadores de automóviles, motocicletas y transporte de carga; 2) empresas prestadoras del servicio de transporte de carga y mercancía; 3) empresas prestadoras del servicio de transporte público de pasajeros; 4) empresas y organizaciones, las cuales son usuarias de transporte de carga y mercancías, así como centros atractores de viajes de pasajeros (centros comerciales, escenarios deportivos, centros de estudio, etc.) y 5) la ciudadanía, la cual es usuaria del transporte particular y público para sus desplazamientos. Asimismo, adicional a sus funciones como autoridad, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y las alcaldías municipales, al ser centros atractores de viajes, pueden contribuir a la reducción de emisiones del transporte. En la Tabla 29 se presentan las acciones aplicables a las diferentes categorías del sector transporte para la reducción de emisiones en el PIGECA.

Tabla 29. Resumen de acciones por categoría para la reducción de emisiones del sector transporte

CATEGORÍA	ACCIONES
Autos	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción de gasolina de ultra bajo contenido de azufre (contenido menor a 10ppm) para hacer factible la introducción de vehículos automotores nuevos con tecnologías avanzadas de control de emisiones. - Introducción de estándares EURO 6/VI - Introducción de vehículos híbridos y eléctricos. - Mejora integral de la revisión técnico mecánica y de gases y de la verificación del cumplimiento. - Implementación de Planes de Movilidad Empresarial Sostenible (Planes MES) - Exigencia de la implementación de alternativas de movilidad sostenible en eventos masivos y en centros comerciales. - Incremento de la oferta de servicios virtuales en las instituciones públicas y financieras. - Ampliación de la opción de teletrabajo a un mayor número de organizaciones. - Ampliación de la aplicación de Planes MES a organizaciones de más de 100 trabajadores (actualmente aplica a empresas de más de 200 trabajadores). - Implementación de un programa masivo de capacitación en técnicas de conducción ecoeficiente. - Implementación del Plan Maestro Metropolitano de la Bicicleta del Valle de Aburrá. - Construcción de redes camineras para acceso al transporte público y la movilidad a pie. - Peatonalización de vías en el centro y zonas prioritarias de movilidad.
Taxis	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción de gasolina de ultra bajo contenido de azufre (contenido menor a 10ppm) para hacer factible la introducción de vehículos automotores nuevos con tecnologías avanzadas de control de emisiones. - Introducción de estándares EURO 6/VI - Introducción de vehículos híbridos y eléctricos. - Mejora de la revisión técnico mecánica y de gases y de la verificación del cumplimiento. - Implementación de un programa masivo de capacitación en técnicas de conducción ecoeficiente.

CATEGORÍA	ACCIONES
Buses	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción de diésel y gasolina de ultra bajo contenido de azufre (contenido menor a 10ppm) para hacer factible la introducción de vehículos automotores nuevos con tecnologías avanzadas de control de emisiones. - Introducción de estándares EURO 6/VI - Renovación de la flota con vehículos EURO 6/VI, eléctricos e híbridos y desintegración de vehículos antiguos. - Introducción de tecnologías de control y prevención de emisiones en vehículos EURO III-IV - Mejora de la revisión técnico mecánica y de gases, y de la verificación del cumplimiento. - Optimización logística de rutas. - Implementación de un programa masivo de capacitación en técnicas de conducción ecoeficiente.
Camiones	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción de diésel y gasolina de ultra bajo contenido de azufre (contenido menor a 10ppm) para hacer factible la introducción de vehículos automotores nuevos con tecnologías avanzadas de control de emisiones. - Introducción de estándares EURO 6/VI - Introducción de tecnologías de control y prevención de emisiones en vehículos EURO III-IV - Renovación de la flota con vehículos EURO 6/VI, eléctricos e híbridos. - Mejora de la revisión técnico mecánica y de gases y de la verificación del cumplimiento. - Priorización del transporte nocturno de carga o desfasamiento de horarios de circulación de vehículos de carga para evitar tránsito en horas pico. - Implementación de sistemas de información para la optimización logística y reducción de viajes en vacío. - Establecimiento de corredores preferenciales para la circulación del transporte de carga. - Establecimiento de zonas de circulación restringida o prohibida para el transporte de carga. - Construcción de centros logísticos de carga y de rutas circunvalares que eviten la entrada de carga de paso al Valle de Aburrá. - Implementación de un programa masivo de capacitación en técnicas de conducción ecoeficiente.
Motos 2T	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la revisión técnico mecánica y de gases y de la verificación del cumplimiento - Acelerar el proceso de salida de circulación de las motos de 2 tiempos mediante programas de renovación. - Establecer un plan de restricciones progresivas a la circulación de motocicletas 2T a través del programa Pico y Placa.

CATEGORÍA	ACCIONES
Motos 4T	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción de estándares EURO III o su equivalente, finalizando el año 2020. - Introducción y promoción para la masificación de vehículos híbridos y eléctricos. - Mejora de la revisión técnico mecánica y de gases y de la verificación del cumplimiento. - Implementación de Planes de Movilidad Empresarial Sostenible (Planes MES). - Implementación de alternativas de movilidad sostenible en eventos masivos y en centros comerciales, en alineación con sus Planes MES. - Incremento de la oferta de servicios virtuales en las instituciones públicas y financieras. - Ampliación de la opción de teletrabajo a un mayor número de organizaciones. - Ampliación de la aplicación de Planes MES a organizaciones de más de 100 trabajadores (actualmente aplica a empresas de más de 200 trabajadores). - Implementación de un programa masivo de capacitación en técnicas de conducción ecoeficiente.
Metroplús	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción de estándares EURO 6/VI - Mejora de la revisión técnico mecánica y de gases y de la verificación del cumplimiento. - Implementación de un programa masivo de capacitación en técnicas de conducción ecoeficiente.
Tractocamiones	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción de diésel y gasolina de ultra bajo contenido de azufre (contenido menor a 10ppm) para hacer factible la introducción de vehículos automotores nuevos con tecnologías avanzadas de control de emisiones. - Introducción de estándares EURO 6/VI - Introducción de tecnologías de control y prevención de emisiones en vehículos EURO III-IV - Renovación de la flota con vehículos EURO 6/VI - Mejora de la revisión técnico mecánica y de gases y de la verificación del cumplimiento. - Priorización del transporte nocturno de carga y desfasamiento de horarios de circulación de vehículos de carga para evitar circulación en horas pico. - Implementación de sistemas de información para la optimización logística y reducción de viajes en vacío. - Establecimiento de corredores preferenciales para la circulación del transporte de carga. - Establecimiento de zonas de circulación restringida o prohibida para el transporte de carga. - Construcción de centros logísticos de carga y de rutas circunvalares que eviten la entrada de carga de paso al Valle de Aburrá. - Implementación de un programa masivo de capacitación en técnicas de conducción ecoeficiente.

CATEGORÍA	ACCIONES
Volquetas	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción de diésel y gasolina de ultra bajo contenido de azufre (contenido menor a 10ppm) para hacer factible la introducción de vehículos automotores nuevos con tecnologías avanzadas de control de emisiones. - Introducción de estándares EURO 6/VI - Introducción de tecnologías de control y prevención de emisiones en vehículos EURO III-IV - Renovación de la flota con vehículos EURO 6/VI - Mejora de la revisión técnico mecánica y de gases y de la verificación del cumplimiento. - Priorización del transporte nocturno de carga y desfasamiento de horarios de circulación de vehículos de carga para evitar circulación en horas pico. - Implementación de sistemas de información para la optimización logística y reducción de viajes en vacío. - Establecimiento de corredores preferenciales para la circulación del transporte de carga. - Establecimiento de zonas de circulación restringida o prohibida para el transporte de carga. - Implementación de un programa masivo de capacitación en técnicas de conducción ecoeficiente.

El desarrollo de los compromisos sectoriales y la implementación completa de las medidas del PIGECA permitirá alcanzar las metas de reducción de emisiones del sector transporte. De acuerdo con los resultados de la modelación, en la Tabla 30 se presentan las metas de emisión de PM_{2.5} para las diferentes categorías del transporte que podrían alcanzarse con la implementación del PIGECA.

Tabla 30. Metas de emisión de PM_{2.5} para las categorías del transporte – Plan

Sector	Metas de emisión por categoría (Ton)				
	2015	2019	2023	2027	2030
Autos	122	116	82	45	28
Taxis	33	39	37	31	29
Buses	146	213	167	88	79
Camiones	579	864	628	523	393
Motos 2T	17	6	2	0	0
Motos 4T	197	154	111	76	56
Metroplús	0	0	0	0	0
Tractocamiones	22	17	9	8	8
Volquetas	391	550	471	274	189
Total	1508	1960	1506	1045	782

Reducción de emisiones en la industria, comercio y servicios

El Plan de Gestión Integral de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, visualiza a la industria de la región como una industria competitiva, productiva, de alto valor agregado y con un desarrollo bajo en emisiones. Para tal fin el Plan propone la mejora operacional de procesos; la optimización de sistemas de control de emisiones; la aplicación de la Resolución 912 de 2017 para el monitoreo y mejora de los procesos de combustión; el establecimiento de estándares de emisión más estrictos; el control de procesos de emisión de fuentes de no combustión y la articulación con herramientas de planeación territorial para incentivar el establecimiento de industria de bajas emisiones.

En la Figura 136 se presenta la reducción de emisiones directas de $PM_{2.5}$ provenientes de fuentes fijas de emisión. La implementación del plan permitiría alcanzar en el año 2030 una emisión de 133 toneladas de $PM_{2.5}$ de las fuente industriales, esto representa una reducción de un 60% frente a las emisiones del año base 2015 y de un 81% frente a las emisiones del escenario tendencial del 2030.

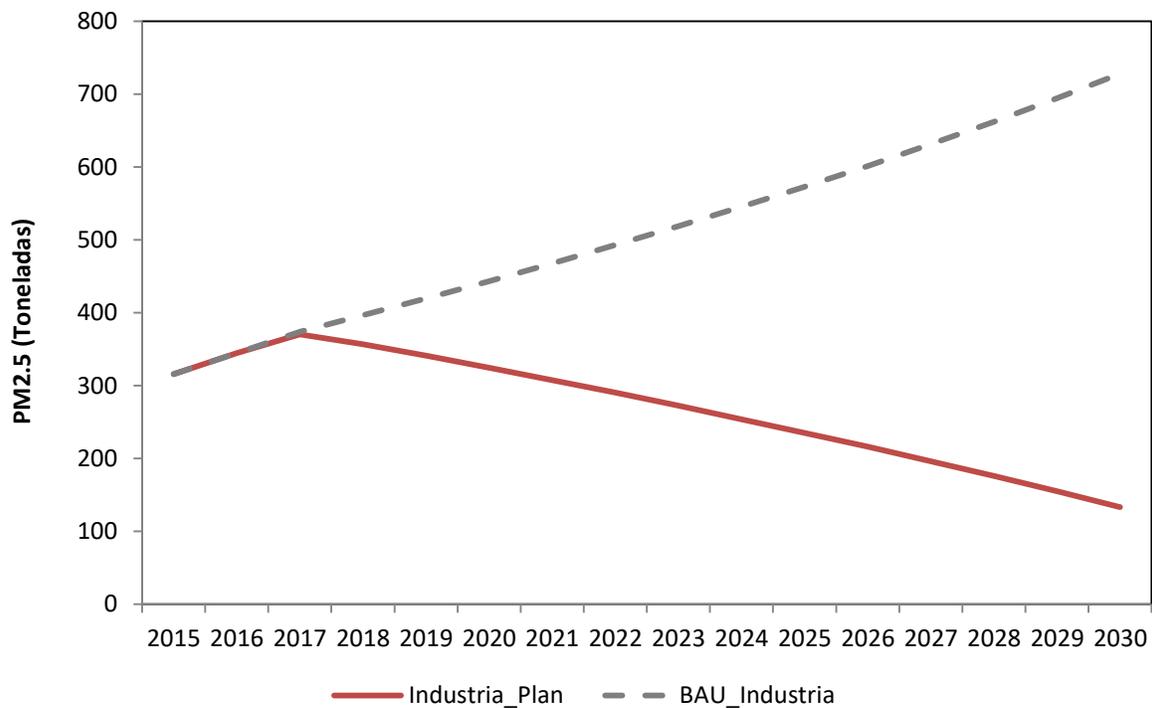


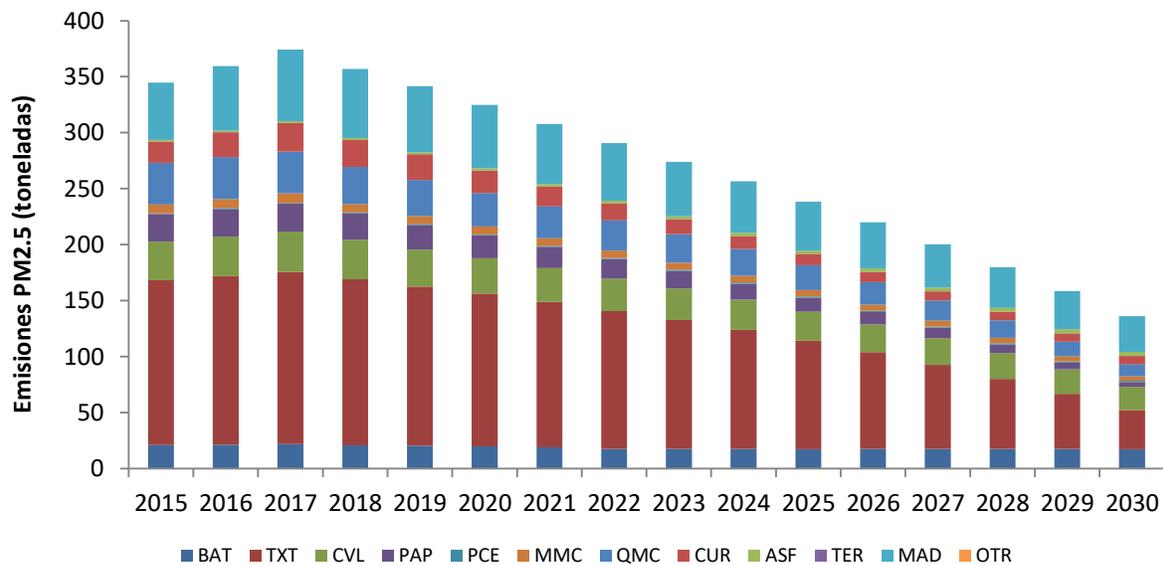
Figura 136. Reducción de emisiones de $PM_{2.5}$ por la implementación del Plan– Fuentes Fijas

En la Figura 137 se presenta el desglose por categoría de las emisiones de $PM_{2.5}$ de fuentes fijas. Como puede observarse en el gráfico el compromiso de reducción de emisiones abarca a todos los sectores.

Un resumen de las reducciones para cada categoría, en comparación con las emisiones del año base se presenta a continuación:

- Reducción del 17% de las emisiones de PM_{2.5} del sector de bebidas, alimentos y tabacos.
- Reducción del 76% de las emisiones de PM_{2.5} del sector textil.
- Reducción del 39% de las emisiones de PM_{2.5} del sector de cerámicas y vítreos.
- Reducción del 83% de las emisiones de PM_{2.5} del sector papelerero.
- Reducción del 73% de las emisiones de PM_{2.5} del sector de plásticos, cauchos y empaques.
- Reducción del 48% de las emisiones de PM_{2.5} del sector metalmecánico.
- Reducción del 70% de las emisiones de PM_{2.5} del sector químico.
- Reducción del 63% de las emisiones de PM_{2.5} del sector curtiembres.
- Reducción del 54% de las emisiones de PM_{2.5} del sector asfaltos.
- Reducción del 38% de las emisiones de PM_{2.5} del sector maderero.

Algunos sectores como el de plásticos, cauchos y empaques y el de asfalto, no presentan emisiones directas de PM_{2.5} significativas, sin embargo, sus procesos presentan emisiones de otros contaminantes que contribuyen con la formación de PM_{2.5} secundario y que pueden reducirse como resultado de la implementación del PIGECA.



BAT: bebidas, alimentos y tabaco TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico; QMC: químico; CUR: cuero; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; OTR: otras industrias

Figura 137. Emisiones de PM_{2.5} por categoría. Implementación del Plan – Fuentes Fijas

Compromisos de reducción sectorial – Industria, comercio y servicios

Tal como se presentó en el análisis de las fuerzas motrices y en capítulo del inventario de emisiones. Los procesos industriales y la actividad de comercio y servicio, presentan características particulares según cada sector. Esto depende de características como la existencia o no, de procesos de combustión; la intensidad energética; el tipo de combustible utilizado; la existencia o no, de sistemas de control y el control de emisiones fugitivas y polvos entre otros. Con base en estas consideraciones y los resultados de la evaluación de las medidas, se presentan en la Tabla 31 las acciones identificadas para la reducción de emisiones en los sectores. Una discriminación por fuente de emisiones que contiene las consideraciones y supuestos utilizados para fines de la estimación de metas aplicables al sector industrial y de servicios se incluye en la Sección 6.1 del Anexo 3 del PIGECA.

Tabla 31. Acciones sectoriales identificadas para la reducción de emisiones del sector industria, comercio y servicios

SECTORES	ACCIONES
Bebidas, alimentos y tabaco	<ul style="list-style-type: none"> – Revisión de la operación y optimización de sistemas de control de emisiones con énfasis en sistemas a carbón. – Control de emisiones fugitivas y fuentes de emisión de procesos de no-combustión. – Caracterización y control de emisiones de procesos con compuestos orgánicos volátiles.
Textil	<ul style="list-style-type: none"> – Revisión de la operación y optimización de sistemas de control de emisiones con énfasis en sistemas a carbón. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de combustión. – Caracterización y control de emisiones de procesos con compuestos orgánicos volátiles.
Cerámico y vítreo	<ul style="list-style-type: none"> – Control de emisiones fugitivas y fuentes de emisión de procesos de no-combustión. – Revisión de la operación y optimización de sistemas de control de emisiones con énfasis en sistemas a carbón. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de combustión. – Caracterización y control de emisiones de procesos con compuestos orgánicos volátiles.
Papel	<ul style="list-style-type: none"> – Revisión de la operación y optimización de sistemas de control de emisiones con énfasis en sistemas a carbón. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de combustión.
Plásticos, cauchos y empaques	<ul style="list-style-type: none"> – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de combustión. – Caracterización y control de emisiones de procesos con compuestos orgánicos volátiles.
Metalmecánico	<ul style="list-style-type: none"> – Revisión de la operación y optimización de sistemas de control de emisiones con énfasis en sistemas a carbón.

SECTORES	ACCIONES
	<ul style="list-style-type: none"> – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de combustión. – Caracterización y control de emisiones de procesos con compuestos orgánicos volátiles.
Químico	<ul style="list-style-type: none"> – Revisión de la operación y optimización de sistemas de control de emisiones con énfasis en sistemas a carbón. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de combustión. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de no combustión. – Caracterización y control de emisiones de procesos con compuestos orgánicos volátiles.
Curtiembres	<ul style="list-style-type: none"> – Revisión de la operación y optimización de sistemas de control de emisiones con énfasis en sistemas a carbón. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de combustión. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de no combustión. – Caracterización y control de emisiones de procesos con compuestos orgánicos volátiles.
Asfaltos	<ul style="list-style-type: none"> – Control de emisiones fugitivas y fuentes de emisión de procesos de no-combustión. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de combustión. – Caracterización y control de emisiones de procesos con compuestos orgánicos volátiles.
Maderero	<ul style="list-style-type: none"> – Revisión de la operación y optimización de sistemas de control de emisiones con énfasis en sistemas de operación con biomasa. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de combustión. – Control, seguimiento y mejora de la operación de procesos de no combustión.

Con la aplicación de las acciones sectoriales identificadas en la tabla anterior, las metas de reducción de emisiones que podrían alcanzarse en cada sector se resumen en la Tabla 32.

Tabla 32. Metas de emisión para los sectores industriales – PIGECA

Sector	Metas de emisión por categoría (Ton)				
	2015	2019	2023	2027	2030
Bebidas, alimentos y tabaco	21.0	20.1	17.9	17.6	17.5
Textil	147.2	142.9	114.7	74.3	35.9
Cerámico y vítreo	34.4	33.2	28.0	23.7	21.0
Papel	24.7	22.1	15.9	9.3	4.2
Plásticos, cauchos y empaques	0.6	0.7	0.6	0.4	0.2
Metalmecánico	8.0	7.4	6.4	5.2	4.2

Sector	Metas de emisión por categoría (Ton)				
	2015	2019	2023	2027	2030
Químico	37.3	32.3	25.3	17.5	11.2
Curtiembres	18.9	21.8	13.6	8.6	6.9
Asfaltos	1.3	1.2	1.0	0.8	0.6
Maderero	51.3	59.1	49.0	39.0	31.6
Total	344.8	341.0	272.4	196.4	133.3

En el ANEXO 3 se presenta el detalle de los resultados de emisiones de $PM_{2.5}$ en la línea base e impacto por la implementación de las medidas propuestas en el Plan de Gestión Integral de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá-PIGECA 2017 -2030.

Estimación de la mejora de la calidad del aire

La reducción de las emisiones por la implementación del plan permite el cumplimiento de las metas de calidad del aire propuestas en el PIGECA. En la Figura 138 se presentan la trayectoria de la concentración del promedio anual de $PM_{2.5}$ en los escenarios de la línea base (BAU) y de implementación del PIGECA. De acuerdo con los resultados, la implementación del PIGECA es un elemento fundamental para reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La modelación de la concentración en el escenario de la línea base muestra un incremento continuo en la concentración de $PM_{2.5}$ la cual podría alcanzar al año 2030 una concentración promedio anual de $77\mu g/m^3$, superando en más del doble las concentraciones del año base 2015.

La implementación del PIGECA permite la reducción de las concentraciones de $PM_{2.5}$ frente a la línea base desde sus primeros años de implementación y un cambio en las tendencias de aumento en la concentración de partículas. La implementación del Plan permitiría alcanzar al año 2030 una concentración promedio anual de $PM_{2.5}$ de $23\mu g/m^3$, proveyendo un aire más limpio a la población del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

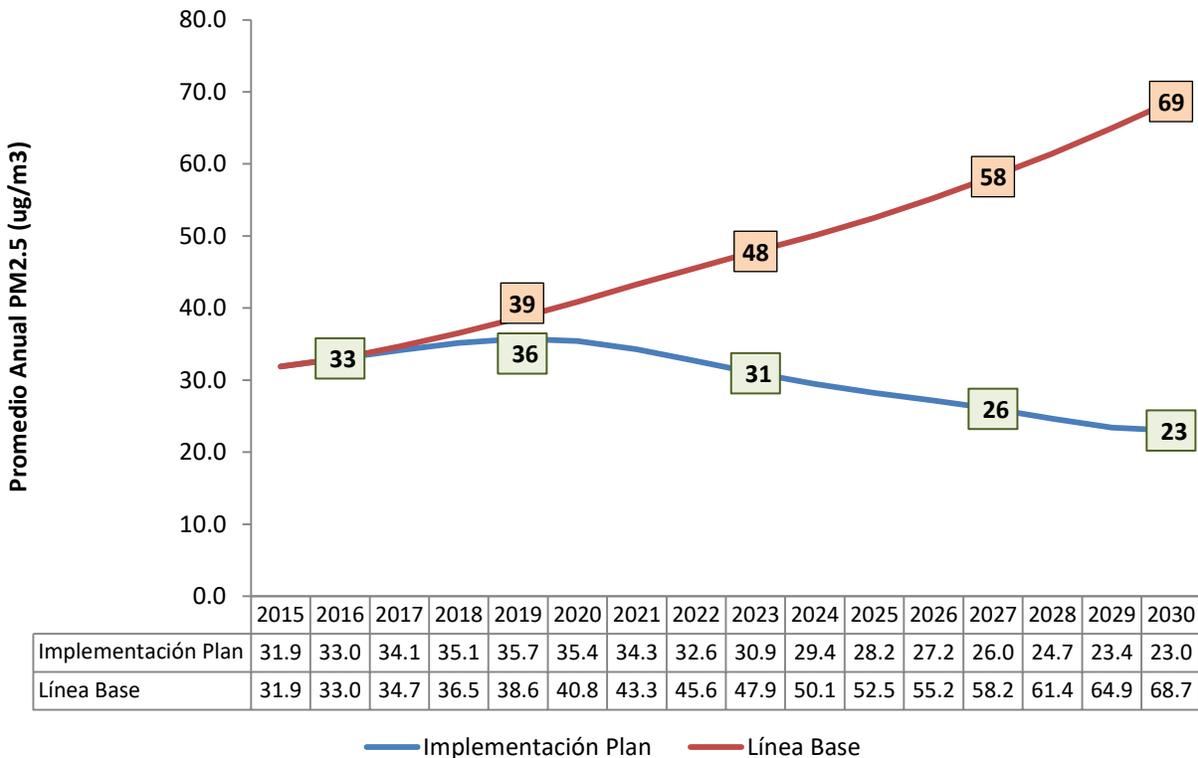


Figura 138. Concentración anual de PM_{2.5}. Escenario de implementación del Plan y línea base

En la Figura 139 se presenta el avance en el cumplimiento de las metas de concentración de PM_{2.5} establecidas en el PIGECA. Los cambios en la concentración guardan estrecha correlación con la variación en las emisiones razón por la cual la disminución en la concentración se logra una vez se alcanzan reducciones en la emisión de partículas. Es necesario anotar que estos resultados han sido estimados para condiciones meteorológicas desfavorables ocurridas en el año base 2015. Estos resultados son indicativos y los efectos de la reducción de las emisiones sobre la calidad del aire en cada año particular pueden variar en función de la incidencia de variables meteorológicas a microescala, mesoescala y escala sinóptica, las cuales pueden afectar las condiciones de dispersión de los contaminantes (Gyr, A. et al, 2013). Asimismo, es necesario tomar en cuenta fenómenos globales de transporte de contaminantes, los cuales están en proceso de ser entendidos en relación con sus implicaciones sobre la calidad del aire en el Valle de Aburrá (Baars, H. et al 2011; Ansmann, A. et al 2009). Por otro lado, el cambio climático global tiene un impacto sobre la calidad del aire debido a las modificaciones que ocasiona sobre las condiciones de temperatura, humedad, precipitación y vientos que influyen sobre la acumulación y transformación de los contaminantes (Von Schneidemesser. Et al, 2015; Jacob, D. J., & Winner, D. A., 2009). Este impacto aún no está determinado para el Valle de Aburrá.

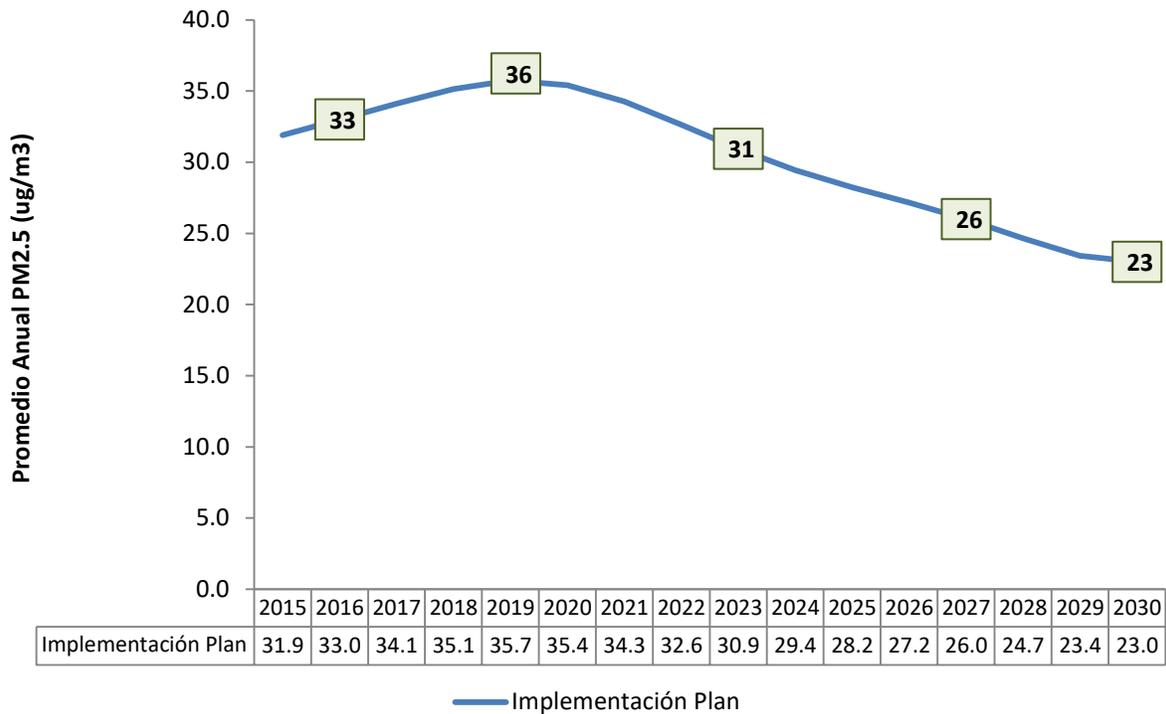


Figura 139. Concentración anual de PM_{2.5}. Escenario de implementación del Plan⁷³

A continuación, en la Figura 140 y la Figura 141 se presentan las reducciones estimadas para la concentración anual de PM₁₀ y ozono a partir de las propuestas formuladas desde el proyecto SIATA con base en las tendencias históricas de concentración.

⁷³ En el Anexo 3 del PIGECA se presenta la modelación de la concentración de PM_{2.5} usando el modelo CAMx para el año base y el año 2030 en los cuales se evalúa el cumplimiento de estos objetivos de concentración a partir de la reducción de emisiones por la implementación del PIGECA.

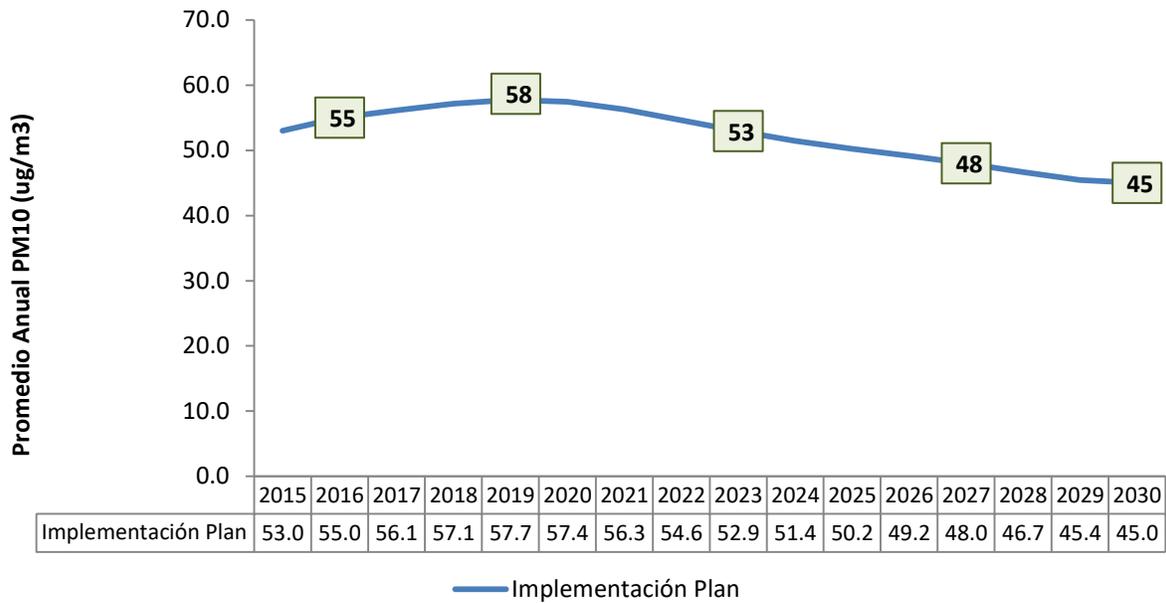


Figura 140. Concentración anual de PM₁₀. Escenario de implementación del Plan

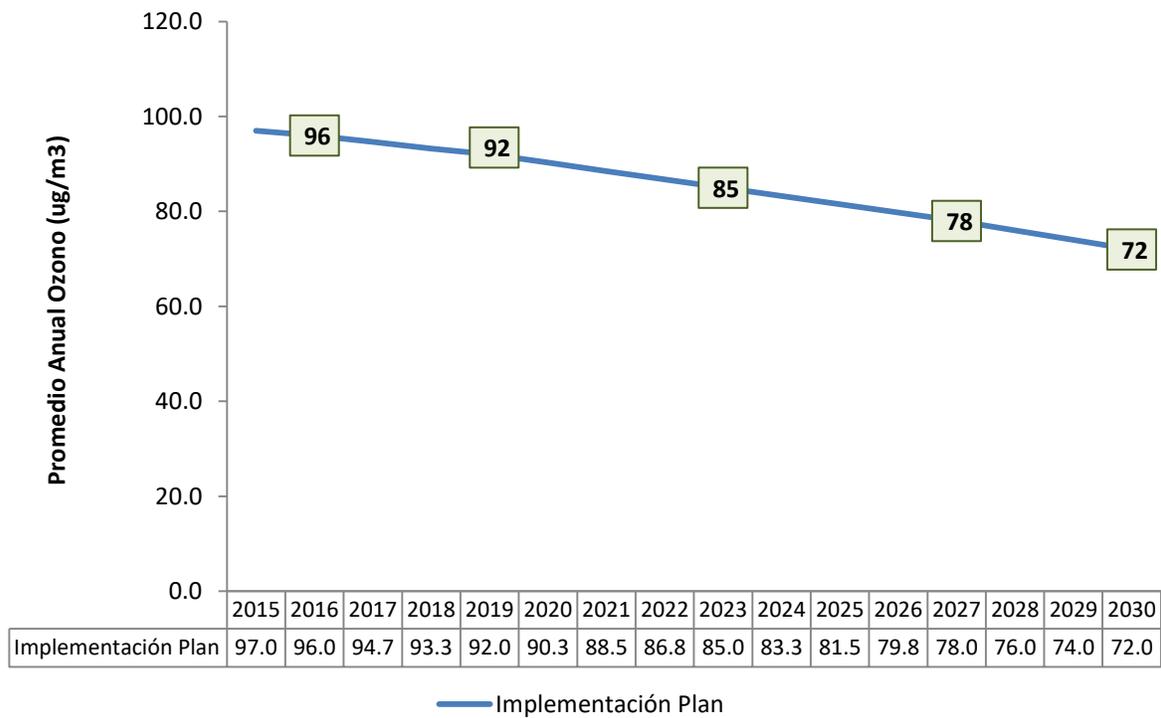


Figura 141. Concentración anual de Ozono. Escenario de implementación del Plan

Evaluación de impactos sobre la salud

Como se mencionó en el Capítulo 4, existe una relación ampliamente documentada entre la contaminación del aire y la aparición de efectos en la salud de la población. De acuerdo con diversas organizaciones internacionales, la contaminación del aire representa el mayor riesgo ambiental para la salud ocasionando cerca de 7 millones de muertes al año (WHO, 2014). Los efectos de la contaminación del aire también incluyen la aparición de síntomas respiratorios; la exacerbación de episodios de asma y la aparición de enfermedades crónicas como la EPOC así como de enfermedades cardiovasculares y de cáncer de pulmón (WHO, 2012). La investigación en torno a los efectos en salud de la contaminación del aire continua avanzando y se documentan efectos adicionales que incluyen afectaciones de la piel; alteración de patrones de sueño; bajo peso al nacer y aumento del stress, entre otros.

La mejora de la calidad del aire por la implementación del PIGECA representa una reducción del riesgo sobre la salud de la población debido a la contaminación del aire. Para estimar este beneficio, se comparan las concentraciones de $PM_{2.5}$ en la línea base y en el escenario de implementación del PIGECA. La diferencia de concentración de estos dos escenarios constituye la zona de beneficios del Plan, es decir, la reducción de la concentración $PM_{2.5}$ como resultado de la implementación del Plan frente a la línea base. La zona de beneficios se presenta en la Figura 142, como puede observarse, estos beneficios ocurren a lo largo de la implementación del Plan y pueden mantenerse en el tiempo aún más allá de los años de análisis del PIGECA. Más allá, los beneficios del PIGECA no solo representan la mejora la reducción del impacto de la contaminación en el año base, sino la reducción del impacto potencial que mayores niveles de contaminación podrían tener sobre la salud de la población en la línea base.

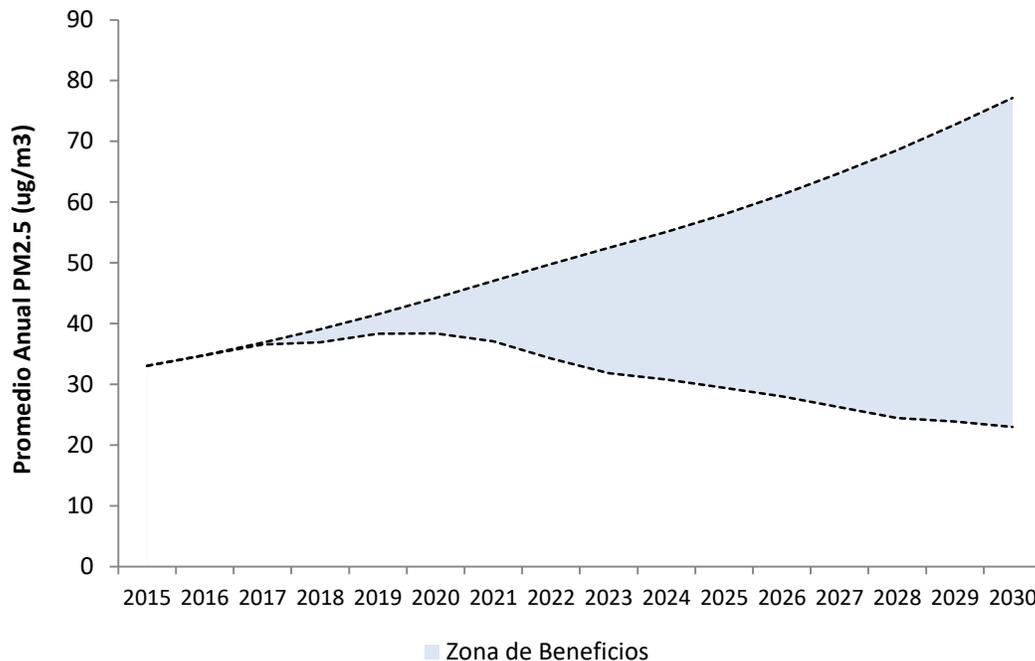


Figura 142. Zona de beneficios por la de reducción de PM_{2.5} en la implementación del PIGECA

Para la estimación de los beneficios en salud del PIGECA se usó el modelo BenMAP-CE desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S EPA, 2016). Esta herramienta usa funciones concentración respuesta; información poblacional, estudios epidemiológicos publicados en la literatura internacional y los cambios en concentración para estimar los beneficios en salud de la mejora de la calidad del aire. El análisis del impacto en salud en el PIGECA se realizó a partir de la evaluación de los efectos en mortalidad infantil, y de mortalidad en adultos mayores de 30 años.

Los beneficios en salud por la implementación del PIGECA pueden expresarse en dos formas: 1) como una reducción en la carga de mortalidad frente al año 2030, y 2) como los beneficios acumulativos de la implementación del Plan a través de los años. El primero hace referencia a la reducción de las muertes atribuible a la contaminación del aire frente al escenario sin Plan y el segundo a la suma de los beneficios por la reducción del riesgo en el Plan.

En Tabla 33 se presentan los resultados de la reducción de la carga de al 2030 por la implementación del PIGECA. En el año base 2015 se estima que la mortalidad atribuible a la contaminación del aire es de 1.748 casos en adultos, y 42 casos en niños menores de 1 año para un total de 1.790 casos que

representan el 12% de la mortalidad en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá ⁷⁴. De acuerdo con el resultado, en el escenario de la línea base, el impacto de la contaminación del aire en la salud podría aumentar dramáticamente. En ausencia del Plan, la mortalidad por causas relacionadas con la contaminación del aire podría representar el 31,7% de la mortalidad en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá al 2030, ocasionando 5.810 muertes en adultos y 113 muertes en niños menores de 1 año, para un total de 5.923 muertes.

Las condiciones críticas de la línea base contrastan con los beneficios de la implementación del PIGECA. En el escenario de implementación del Plan, la mortalidad atribuible a la contaminación del aire se reduce al 8%, una disminución del 32,5% frente al año base 2015. La implementación del PIGECA reduciría la carga de mortalidad en un 75% en comparación al escenario de la línea base 2030, evitando la muerte de 4.438 personas para ese año. Los casos de mortalidad infantil por contaminación del aire pasarían de 113 a 29 mortalidades y la mortalidad en adultos, pasaría de 5.810 a 1.456 casos.

Tabla 33. Carga de mortalidad por la implementación del PIGECA

criterio	2015	2030 LB	2030 PIGECA	Casos evitados	Porcentaje de reducción
Mortalidad (Número de casos atribuibles a la contaminación en mayores de 30 años)	1,748	5,810	1,456	4,354	75%
Mortalidad infantil (Número de casos atribuibles a la contaminación en menores de 1 año)	42	113	29	84	74%
Mortalidad atribuible a la contaminación del aire	1,790	5,923	1,485	4,438	75%
Mortalidad total (excluye causas accidentales) ^a	15,5635	18,308	18,308	N/A	N/A
Porcentaje de mortalidad atribuible ^b	12.0%	31.7%	8.1%	N/A	N/A

^a La mortalidad total corresponde al total de muertes en los municipios del Valle de Aburrá (excluyendo causas accidentales y homicidios). La mortalidad total al año 2030 se estima con base en las proyecciones del crecimiento poblacional del Plan BIO 2030.

^b El porcentaje de mortalidad atribuible se calcula sobre el total de muertes no accidentales.

En adición a los beneficios de reducción de la carga de enfermedad, la implementación del PIGECA presenta beneficios acumulativos por la reducción continua de la concentración de PM_{2.5} durante su

⁷⁴ EL porcentaje de mortalidad atribuible se estima en relación a las muertes por causas no accidentales (se excluyen accidentes y homicidios).

implementación. La evaluación de los beneficios proporciona una evaluación más completa del beneficio neto del plan a través de los años de su implementación, adicionalmente, considera la gradualidad en la manifestación de los efectos de la reducción de la exposición crónica a PM_{2.5}. En la Tabla 34 se presenta el resumen de los beneficios acumulativos del Plan. Durante su implementación, el Plan permite evitar 18.344 casos de mortalidad atribuibles a la contaminación del aire (562 casos en niños menores de 1 año y 17.783 casos en adultos mayores de 30 años), representado una reducción neta del 52% de los casos. Estos beneficios pueden ser mayores, perdurando más allá del período de evaluación del Plan.

Tabla 34. Beneficios en salud de la implementación del PIGECA. Análisis acumulativo para el período 2017-2030

criterio	Casos totales sin Plan	Casos evitados en el PIGECA	Porcentaje de reducción
Mortalidad (en mayores de 30 años)	53,087	17,783	52%
Mortalidad infantil (menores de 1 año)	1,113	562	50%
Mortalidad total	54,201	18,344	52%

Valoración económica de beneficios

La valoración económica de los beneficio en salud por la reducción de la contaminación del aire es una herramienta útil para la realización de análisis costo-beneficio de la implementación de acciones para la mejora de la calidad del aire. Esta estimación se realiza usando los beneficios acumulativos del Plan. En la Tabla 35 se presentan los resultados de la valoración económica de los beneficios en salud. De acuerdo con los resultados, el Plan presenta beneficios netos de 11.7 billones de pesos colombianos.

Tabla 35. Valoración económica de beneficios en salud por la implementación del Plan. (Millones de pesos colombianos)

criterio	Casos evitados en el PIGECA	Valoración económica
Mortalidad (en mayores de 30 años)	17,783	11,356,225
Mortalidad infantil (menores de 1 año)	562	380,344
Mortalidad total	18,344	11,736,569

En complemento a lo anterior, en la Tabla 36 se presentan los resultados de la valoración de la reducción de la carga de mortalidad al año 2030. De acuerdo con estos resultados, la implementación del PIGECA reduciría para ese año el costo de la carga de mortalidad de 7.8 a 1.9 billones de pesos. Representado una reducción de 5.8 billones para este año.

Tabla 36. Valoración económica de la reducción de la carga de mortalidad para el año 2030 por la implementación del PIGECA. Precios Constantes de 2017. Millones de pesos

Criterio	Carga de mortalidad (Línea Base 2030)	Carga de mortalidad (PIGECA 2030)	Reducción
Casos mortalidad (en mayores de 30 años)	5,810	1,456	4,354
Casos mortalidad infantil (menores de 1 año)	113	29	84
Casos mortalidad Atribuible	5,923	1,485	4,438
Valoración económica carga mortalidad	\$7,761,204	\$1,945,956	\$5,815,248



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



8 REFERENCIAS

Alcaldía de Medellín (2015). Pobreza y desigualdad en Medellín. ¿Cómo vamos en pobreza y desigualdad? <http://www.medellincomovamos.org/pobreza-y-desigualdad/>.

Alcaldía de Medellín – Universidad de Antioquia (Instituto de Estudios Regionales - INER). 2012. Dinámicas de articulación regional entre los Valles de Aburrá, San Nicolás y Río Cauca. Medellín, Colombia.

Alcaldía Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Centro de Estudios Urbanos y Ambientales de la Universidad EAFIT (URBAM). 2011. BIO 2030 Plan Director Medellín, Valle de Aburrá. Medellín: Mesa Editores.

Ansmann, A., Baars, H., Tesche, M., Müller, D., Althausen, D., Engelmann, R., & Artaxo, P. (2009). *Dust and smoke transport from Africa to South America: Lidar profiling over Cape Verde and the Amazon rainforest*. *Geophysical Research Letters*, 36(11).

Área Metropolitana del Valle de Aburrá CAI. (2014). Desarrollo de una estrategia ambiental integrada para una movilidad sustentable en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá - UPB. (2015). Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013. Medellín: Convenio 315 de 2014.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá - UPB. (2015). Pico y Placa Industrial. Convenio de Asociación N.º 315 de 2014. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá - UPB. (2016). Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá- Año 2015. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2011). Plan de descontaminación del aire en la región metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Municipio de Medellín y Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín (UNAL). 2012. Encuesta Origen Destino de Hogares para el Valle de Aburrá. Informe Final.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2016. Plan de Gestión 2016-2019: Territorios Integrados.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá- Steer Davies Gleave. (2013). Calibración del Modelo de Transporte del Valle de Aburrá bajo software EMME y Priorizar Proyectos Viales y de Transporte a Corto, Mediano y Largo Plazo. CM 492 de 2012. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá- Universidad Pontificia Bolivariana. (2013). Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011. Convenio 243 de 2012. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2011). ¿Qué es el Área? Recuperado el 09 de Julio de 2015, de <http://www.aredigital.gov.co/institucional/Paginas/queeselarea.aspx>

Baars, H., Ansmann, A., Althausen, D., Engelmann, R., Artaxo, P., Pauliquevis, T., & Souza, R. (2011). *Further evidence for significant smoke transport from Africa to Amazonia*. Geophysical Research Letters, 38(20).Chicago

CAI. (2013).Experiencia en la implementación de políticas e iniciativas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) . Washington D.C. United States of America: Clean Air Institute.

CAI, CMM. (2014). Diseño de un Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas en los Municipios que conforman la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. México D.F: Gobierno del Estado de México. Secretaría de Medio Ambiente. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación del Aire.

CCAC. (2015). Hora de actuar para reducir los contaminantes climáticos de vida corta. Milán: Coalición de Clima y Aire Limpio para Reducir los Contaminantes de Vida Corta (CCAC).

CEPAL. (2016).

Ciudad de México. (2012). Decreto por el que se expide el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en el Distrito Federal. Ciudad de México: GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL.

Ciudad de México. (2016). Decreto por el que se expide el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en el Distrito Federal. Ciudad de México: GACETA OFICIAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Clarke, N., & Lorenz, M. (2010). *Air Pollution Impacts on Forests in a Changing Climate*. Vienna: INTERNATIONAL UNION OF FOREST RESEARCH ORGANIZATIONS.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2016. *Notas de Población*. N. ° 102 Santiago, enero-junio de 2016.

Comisión Europea. (6 de enero de 2016). *The Industrial Emissions Directive*. Obtenido de *Additional tools Facebook Twitter YouTube Print version Decrease text Increase text*: <http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm>

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2008). CONPES 3550. *Lineamientos para la formulación de la Política Integral de Salud Ambiental con énfasis en los componentes de calidad del aire, calidad de agua y seguridad química*. Bogotá D.C.: Departamento Nacional de Planeación.

DANE. (2016). *Informe de Coyuntura Económica regional 2015*. Departamento de Antioquia.

DANE. (2015). *Informe de Coyuntura Económica regional 2014*. Departamento de Antioquia.

DANE. (2005). *Censo General 2005*. Obtenido de DANE: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>

DANE. (2005). *Censo General 2005: Nivel Nacional (Vols. ISBN 978-958-624-072-7)*. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional.

El Tiempo 2015. *Tras años duros, el sector textil ve con esperanza el 2015* <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/proyeccion-del-sector-textil-de-colombia-para-2015/15162788>.

Environment Canada. (2010). *Damage to Infrastructure and Canadian Industries*. Recuperado el 29 de 07 de 2017, de Environment and Climate Change Canada: <https://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=7DBE4D9F-1>

EPA. (1998). AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 1: *External Combustion Sources. Natural Gas Combustion*. U.S. Environmental Protection Agency.



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



Gobernación de Antioquia. (2013). Anuario Estadístico de Antioquia. Medellín: Departamento Administrativo de Planeación.

Gyr, A., & Rys, F. S. (Eds.). (2013). *Diffusion and transport of pollutants in atmospheric mesoscale flow fields* (Vol. 1). Springer Science & Business Media.

Höglund-Isaksson, L., & Sterner, T. (2009). *Innovation effects of the Swedish NOx charge*. París: OECD. Obtenido de <https://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43211635.pdf>

IGU. (2015). *Case studies in improving urban air quality*. Fornebu: International Gas Union.

INEXMODA. (2012). Importancia y retos del sector en la Economía Colombiana. Medellín: Inexmoda.

Johansson, B. (2000). *Economic instruments in practice 1: carbon tax in Sweden*. OECD. Obtenido de <https://www.oecd.org/sti/inno/2108273.pdf>

Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). *Effect of climate change on air quality*. Atmospheric environment, 43(1), 51-63.

Loomis, D. (1999). *Air pollution and infant mortality in Mexico City*. Epidemiology, 10, 118-123.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 610 de 2010 "Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006". Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

MINTIC. (2014). Resultados Estudio de Penetración del Teletrabajo 2014. Bogotá D.C: MINTIC.

NBER. (1999). Cleaner Air Results in Higher Home Prices. Recuperado el 29 de 7 de 2017, de National Bureau of Economic Research: <http://www.nber.org/digest/mar99/w6826.html>

NEC. (2002). *National Programme of the Federal Republic of Germany pursuant to Article 6 of Directive 2001/81/EC of 23 October 2001 on national emission ceiling for certain atmospheric pollutants*. Berlín: Umweltbundesamt NEC Directive. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/archives/air/pdf/200181_prog_de_en.pdf



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



OECD. (2016). *The economic consequences of outdoor air pollution*. OECD POLICY HIGHLIGHTS. Paris: OECD. Recuperado el 29 de julio de 2017, de <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Policy-Highlights-Economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-web.pdf>

OMS. (2005). *Guías para la Calidad del Aire - Actualización 2005. Resumen de Evaluación de los Riesgos*. Organización Mundial de la Salud.

Pope, C. I., Burnett, R., & Thun, M. (2002). *Lung Cancer, Cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine air pollution*. *Journal of the American Medical Association*, 287, 1132-1141.

Rahul, J., & Kumar, M. (2014). *An Investigation in to the Impact of Particulate Matter on Vegetation along the National Highway: A Review*. *Research Journal of Environmental Sciences*, 8, 356-372.

Republiique Francaise. (2014). *Arrêté inter-préfectoral n°2014-00573 relatif à la procédure d'information-recommandation et d'alerte du public en cas d'épisode de pollution en région d'Ile-de-France*. Paris: Ile-de-France.

Schreifels, J. (2007). *Emissions trading in Santiago, Chile: a review of the emission offset program of Supreme Decree N. °4*. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.187.7086&rep=rep1&type=pdf>

SEREMI. (2015). *Plan Operacional para la gestión de episodios críticos de contaminación atmosférica por material particulado respirable (MP10) en la Región Metropolitana*. Santiago de Chile: SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE.

U.S EPA. (2016). *Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition (BenMAP-CE)*. Obtenido de US Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/benmap>

U.S. EPA. (2015). *Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – Community Edition*. Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency.

UNECE. (29 de July de 2004). *Air pollution and food production*. (United Nations Economic Commission for Europe) Obtenido de UNECE: <https://www.unece.org/environmental-policy/conventions/envlrtpwelcome/cross-sectoral-linkages/air-pollution-and-food-production.html>



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



UPB - Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2015). ZIGMA. Obtenido de MODEAM: <http://modemed.upb.edu.co/zigma2/>

UPME. (2005). La Cadena de Carbón: El Carbón Colombiano. Fuente de Energía para el Mundo. 2005: Ministerio de Minas y Energía.

UPME. (2015). Balance de Gas Natural en Colombia. 2015 -2023. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.

USEPA. (2015). *List of Designated Reference and Equivalent Methods*. Durham: Unites States Environmental Protection Agency. National Exposure Research Laboratory. Human Exposure & Atmospheric Sciences Division.

Vélez, Julián. 2014. Medellín: una ciudad hacia el sector servicios y los efectos en el empleo. En: Revista Memorias. Volumen 12. N. °21.

Vineke, J., & Zimmer, J. (2001). *VOC emissions from manufacturing processes. Cleaner technology in the lacquer and paint industry*. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/archives/air/stationary/solvents/activities/pdf/d022_voc_emission_from_manufacturing.pdf

Von Schneidemesser, E., Monks, P. S., Allan, J. D., Bruhwiler, L., Forster, P., Fowler, D., ... & Sindelarova, K. (2015). *Chemistry and the linkages between air quality and climate change*. Chem. Rev, 115(10), 3856-3897. Vol. 1. Springer Science & Business Media.

WHO. (2012). *Burden of disease from ambient and household air pollution*. Recuperado el 01 de 07 de 2015, de http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/

WHO. (25 de March de 2014). *7 million premature deaths annually linked to air pollution*. Recuperado el 1 de julio de 2015, de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>

World Bank - IHME. (2016). *The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action*. Washington: Recuperado el 29 de 07 de 2017, de <http://documents.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/pdf/108141-REVISED-Cost-of-PollutionWebCORRECTEDfile.pdf>



SOMOS 10
TERRITORIOS
INTEGRADOS



World Bank. (2014). *Environmental Health Costs in Colombia: The Changes from 2002 to 2010*. Latin America and Caribbean region Environment and Water Resources occasional paper series. Washington D.C.: The World Bank Group. Obtenido de <http://documents.worldbank.org/curated/en/2014/06/20472765/environmental-health-costs-colombia-changes-2002-2010>

World Bank. (08 de 09 de 2016). *Air Pollution Deaths Cost Global Economy US\$225 Billion*. Obtenido de The World Bank: <http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2016/09/08/air-pollution-deaths-cost-global-economy-225-billion>