

Convenio Especial de Cooperación para Actividades de Ciencia y Tecnología 13364-17

Objeto: aunar esfuerzos para formular el plan de gestión de la calidad del aire de la corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga - CDMB, para los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, conforme con lo establecido en la resolución MADS no. 2254 de 2017 y la política para el mejoramiento de la calidad del aire documento CONPES 3943.

Plan de Gestión para la Calidad del Aire de la CDMB

Informe Final



Universidad
Pontificia
Bolivariana

Acreditación Institucional de Alta Calidad • Sede Central - Medellín
Res. No. 02444 del 22 de febrero de 2017 - 8 años - Vigilada Mineducación



14 de mayo de 2022

**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN PARA ACTIVIDADES DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA 13364-17**

CONVENIANTES

Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB

Director

JUAN CARLOS REYES NOVA

Subdirector Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio

LEONEL ENRIQUE HERRERA ROA

SUPERVISIÓN

MARÍA CARMENZA VICINI MARTÍNEZ

Coordinadora Grupo Gestión del Conocimiento Ambiental

Mauricio Galván

Apoyo a la supervisión

Universidad Pontificia Bolivariana

Rector

GUSTAVO MÉNDEZ PAREDES

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA

Grupo de investigaciones

Kento Taro Magara Gómez	Director
María Victoria Toro Gómez	Directora Científica
Gabriel Alexis Medina	Co-investigador
Luis Eduardo Castillo Meza	Co-investigador
Daniela Camacho	Profesional Plan de Gestión
Liseth Galeano	Profesional Plan Atención Episodios
Jaiverth Leandro López	Coordinador Fuentes Móviles
Maria Fernanda Vera	Coordinadora Fuentes Industriales
Alejandro Marín Sánchez	Profesional Modelo de Dispersión
Freddy García Martínez	Profesional Modelo de Dispersión
Diana Badillo	Ingeniera Ambiental
Yanina Rincón	Ingeniera Ambiental
Néstor Waldyd Álvarez	Profesional Desarrollo Web

Contenido

INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETO Y ALCANCE	10
1.1. OBJETO	10
1.2. ALCANCE.....	10
2. CONTEXTO	11
2.1. FUERZAS MOTRICES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE	12
2.2. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN	15
2.3. ACCIONES GLOBALES SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE	18
2.4. ACUERDOS MUNDIALES SOBRE MEDIO AMBIENTE	21
3. MARCO LEGAL	22
3.1. CONTEXTO INTERNACIONAL.....	22
3.1.1. <i>Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)</i>	22
3.1.2. <i>Coalición de Clima y Aire Limpio (CCAC)</i>	24
3.1.3. <i>Plan de Acción Regional de Cooperación Intergubernamental en materia de Contaminación Atmosférica para América Latina y el Caribe</i>	26
3.2. CONTEXTO NACIONAL	27
3.2.1. <i>Política para la prevención y control de la contaminación de aire</i>	27
3.2.2. <i>Normatividad para la calidad del aire</i>	29
3.3. CONTEXTO LOCAL	35
3.3.1. <i>Plan de Gestión Ambiental Regional 2015-2031</i>	35
3.3.2. <i>Plan de Acción 2020-2023</i>	35
3.3.3. <i>CONSEJO TERRITORIAL EN SALUD AMBIENTAL (COTSA)</i>	36
4. BASES PARA EL PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	37
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA	37
4.1.1. <i>Crecimiento demográfico</i>	38
4.1.2. <i>Desigualdad</i>	40
4.1.3. <i>Actividad económica</i>	41
4.1.4. <i>Salud</i>	41
4.1.5. <i>Transporte</i>	41
4.1.6. <i>Demanda energética de los municipios</i>	43
4.2. EMISIONES A LA ATMOSFERA	44
4.2.1. <i>ANTECEDENTES EN INVENTARIOS DE FUENTES FIJAS Y MÓVILES</i>	45

4.2.2. INVENTARIO DE FUENTES DE EMISIÓN AÑO BASE 2021	48
4.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE	78
4.3.1. Topografía de la zona	79
4.3.2. Condiciones meteorológicas.....	80
4.3.3. CALIDAD DEL AIRE (COMPORTAMIENTO Y TENDENCIAS)	88
4.4. CLASIFICACIÓN DE AREA FUENTE.....	110
4.4.1. Metodología.....	110
4.4.2. Resultados.....	111
4.4.3. Análisis complementario	116
4.5. DIAGNÓSTICO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE (AUTORIDAD AMBIENTAL)	117
4.5.1. Gestión realizada.....	120
4.5.2. Comunicaciones	122
4.5.3. GOBERNANZA.....	122
5. MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	124
5.1. MESAS DE TRABAJO.....	124
5.2. MEDIDAS ESTRUCTURALES.....	126
5.2.1. Industria	126
5.2.2. Transporte.....	128
5.2.3. Ordenamiento Territorial	129
5.2.4. Fortalecimiento Institucional.....	130
5.2.5. Educación y Comunicación	132
5.2.6. Movilidad Activa.....	133
5.3. METAS DEL PGCA	134
5.4. MEDIDAS DE REDUCCIÓN	135
6. PLAN PARA LA ATENCIÓN DE EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE LA CDMB ..	137
7. FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL	138
BIBLIOGRAFÍA	141

Lista de figuras

Figura 1 Infografía niveles de contaminación.....	18
Figura 2 Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	23
Figura 3 Área jurisdicción CDMB.....	37
Figura 4. Crecimiento poblacional de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga.....	39
Figura 5 Distancia anual recorrida en el primer año del vehículo (VKT ₀).....	42
Figura 6 Demanda de gasolina, diésel y GNV en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga.....	44
Figura 7 Distribución de establecimientos en el Área Metropolitana de Bucaramanga.....	46
Figura 8 Resultados inventario de emisiones para fuentes móviles 2017.....	47
Figura 9 Resultados inventario de emisiones para fuentes móviles según el combustible 2017.....	48
Figura 10 Fuentes fijas identificadas en el inventario.....	49
Figura 11 Distribución de empresas y fuentes por sector productivo.....	51
Figura 12 Distribución porcentual de las emisiones por sector industrial.....	53
Figura 13 Distribución porcentual emisiones GEI por sector industrial.....	53
Figura 14 Porcentaje de emisiones a nivel industrial por tipo de combustible.....	54
Figura 15 Distribución espacial de concentración de CO.....	54
Figura 16 Distribución espacial concentración NOx.....	55
Figura 17 Distribución espacial concentración Sox.....	55
Figura 18 Distribución espacial concentración COV.....	56
Figura 19 Distribución espacial concentración NMVOC.....	56
Figura 20 Distribución espacial concentración MP.....	57
Figura 21 Distribución espacial concentración PM ₁₀	57
Figura 22 Distribución espacial concentración PM _{2,5}	58
Figura 23 Edad del parque automotor.....	61
Figura 24 Distribución de emisiones por categoría vehículo.....	63
Figura 25 Distribución de emisiones por tipo de combustible.....	64
Figura 26 Distribución de emisiones GEI por categoría vehicular.....	65
Figura 27 Distribución de emisiones GEI por tipo de combustible.....	66
Figura 28 Distribución espacial de concentración de CO.....	67
Figura 29 Distribución espacial concentración NOx.....	67
Figura 30 Distribución espacial concentración SOx.....	68
Figura 31 Distribución espacial concentración NMVOC.....	68

Figura 32 Distribución espacial concentración PM _{2.5}	69
Figura 33 Distribución espacial concentración CO ₂	69
Figura 34 Distribución espacial concentración CH ₄	70
Figura 35 Variación de biogás estimado por el modelo en Mg/año.....	71
Figura 36 Aportes de las emisiones por municipio.....	72
Figura 37 Porcentaje de emisiones provenientes de fuentes móviles y fuentes fijas.....	74
Figura 38 Distribución de las emisiones de GEI por fuentes móviles y fijas.....	75
Figura 39 Dispersión de olor en el relleno sanitario El Carrasco para el año base 2021.....	76
Figura 11 Dispersión de olor en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el año base 2021.....	77
Figura 41. Mapa de la distribución de las emisiones totales en el área metropolitana de Bucaramanga.	78
Figura 39 Características del relieve topográfico de la zona	79
Figura 40 Comportamiento de la temperatura en el año 2021.....	81
Figura 41 Precipitación mensual estaciones año 2021	82
Figura 42 Acumulado de precipitación mensual para el año 2021.....	83
Figura 43 Velocidad del viento promedio registrado en las estaciones	84
Figura 44 Rosa de vientos (Blowing to) para el año 2021, Estación Ciudadela.....	84
Figura 45 Rosa de vientos (Blowing to) para el año 2021, Estación Florida	85
Figura 46 Rosa de vientos (Blowing to) para el año 2021, Estación Floridablanca	85
Figura 47 Promedio mensual presión atmosférica.....	86
Figura 48 Humedad promedio en las estaciones para el año 2021.....	87
Figura 49 Radiación solar promedio año 2021	88
Figura 50 Porcentaje de excedencias de las concentraciones de material particulado menor a 10 µm (PM ₁₀) en el aire por año	90
Figura 51 Concentración máxima de PM ₁₀ , registrada en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, respecto a la norma colombiana de calidad del aire (2018-2020).....	90
Figura 52 Concentraciones de material particulado menor a 10 µm (PM ₁₀) en el aire por año	91
Figura 53 Porcentaje de excedencias de las concentraciones de material particulado menor a 2.5 µm (PM _{2.5}) en el aire por año.....	92
Figura 54 Concentración máxima de PM _{2.5} registrada en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, respecto a la norma colombiana de calidad del aire (2019-2020).....	92
Figura 55 Concentraciones de material particulado menor a 2.5 µm (PM _{2.5}) en el aire por año	93
Figura 56 Número de excedencias de material particulado menor a 2.5 µm (PM _{2.5}) en el aire por año	94

Figura 57 Porcentaje de excedencias de la concentración octohoraria de ozono troposférico (O ₃) en el aire.....	94
Figura 58 Concentración máxima de O ₃ registrada en la estación La Ciudadela, respecto a la norma colombiana de calidad del aire (2019).....	95
Figura 59 Excedencias de norma octohoraria para O ₃ estación La Ciudadela (Limite 100 µg/m ³ 8 h)	95
Figura 60 Excedencias de norma octohoraria para O ₃ estación Floridablanca (Limite 100 µg/m ³ 8 h)	96
Figura 61 Índice de calidad del aire por PM ₁₀ en la estación Cabecera, años 2018-2021	97
Figura 62 Índice de calidad del aire por PM ₁₀ en la estación Ciudadela, años 2018-2021	97
Figura 63 Índice de calidad del aire por PM ₁₀ en la estación La Ciudadela, años 2018-2020	98
Figura 64 Índice de calidad del aire por PM ₁₀ en la estación Lagos I Floridablanca, años 2018-2020	98
Figura 65 Índice de calidad del aire por PM ₁₀ en la estación Lagos del Cacique, años 2018-2020.....	98
Figura 66 Índice de calidad del aire por PM ₁₀ en la estación San Francisco, años 2018-2020.....	99
Figura 67 Índice de calidad del aire por PM ₁₀ en la estación Santa Cruz de Girón, años 2018-2020 .	99
Figura 68 Índice de calidad del aire por PM ₁₀ en la estación Club Unión y Colegio Gaitán, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb).....	100
Figura 69 Índice de calidad del aire por PM ₁₀ en la estación Hospital del Norte y Centro Cultural Daniel Mantilla Orbegozo - Piedecuesta, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)	100
Figura 70 Índice de calidad del aire por PM _{2.5} en la estación La Ciudadela, años 2018-2020	101
Figura 71 Índice de calidad del aire por PM _{2.5} en la estación San Francisco, años 2018-2020	101
Figura 72 Índice de calidad del aire por PM _{2.5} en la estación Lagos del Cacique, años 2018-2020 ..	101
Figura 73 Índice de calidad del aire por PM _{2.5} en la estación Lagos I Floridablanca, años 2018-2020	102
Figura 74 Índice de calidad del aire por PM _{2.5} en la estación Santa Cruz de Girón, años 2018-2020	102
Figura 75 Índice de calidad del aire por PM _{2.5} en la estación Club Unión y Colegio Gaitán, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb).....	102
Figura 76 Índice de calidad del aire por PM _{2.5} en la estación Hospital del Norte y Centro Cultural Daniel Mantilla Orbegozo - Piedecuesta, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)	103
Figura 77 Índice de calidad del aire por O ₃ octohorario en la estación La Ciudadela, años 2018-2020	103
Figura 78 Índice de calidad del aire por O ₃ octohorario en la estación Lagos I Floridablanca, años 2018-2020	103
Figura 79 Índice de calidad del aire por O ₃ octohorario en la estación Florida, años 2018-2021	104
Figura 80 Índice de calidad del aire por O ₃ en la estación Hospital del Norte y Centro Cultural Daniel Mantilla Orbegozo - Piedecuesta, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)	104

Figura 81 Índice de calidad del aire por NO ₂ horario en la estación Lagos I Floridablanca, años 2018-2020.....	105
Figura 82 Índice de calidad del aire por NO ₂ horario en la estación La Ciudadela, años 2018-2020	105
Figura 83 Índice de calidad del aire por NO ₂ horario en la estación Club Unión, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)	105
Figura 84 Concentraciones promedio hora NH ₃ vs norma horaria.....	107
Figura 85 Concentraciones promedio 24 horas NH ₃ vs norma diaria	107
Figura 86 Concentraciones promedio hora H ₂ S vs norma horaria	107
Figura 87 Concentraciones promedio 24 horas H ₂ S vs norma diaria	108
Figura 88 Azufre total reducido por mes Colegio Gaitán.....	108
Figura 89 Azufre total reducido por mes Hospital Norte.....	108
Figura 90 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación Santander.....	109
Figura 91 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación Nariño	109
Figura 92 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación La Joya.....	109
Figura 93 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación San Ignacio	109
Figura 94 Sulfuro de hidrógeno por mes Empresas	109
Figura 95 Sulfuro de hidrógeno por mes Centro Abastos	109
Figura 96 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación Gaitán	110
Figura 97 Media móvil PM ₁₀ (promedios corridos) de tres (3) años de concentración para 2021 – estación Ciudadela	113
Figura 98 Media móvil PM ₁₀ (promedios corridos) de tres (3) años de concentración para 2021 - estación ciudadela (norma anual para el año 2030)	114
Figura 99 Relación entre el PM _{2.5} y el PM ₁₀ Estación La Ciudadela	115
Figura 100 Media móvil PM _{2.5} (promedios corridos) de tres (3) años de concentración para 2021 - Estación ciudadela (norma anual para el año 2021 y 2030)	116
Figura 101 Estructura organizacional de la CDMB.....	118
Figura 102. Actores involucrados en la Gobernanza del aire.....	123
Figura 103 Estructura del PGCA.....	126
Figura 104 Estructura SEYCA para gestión calidad del aire	139
Figura 105 Estructura SOPIT para gestión de la calidad del aire.....	139

Lista de tablas

Tabla 1 Niveles Máximos Permisibles de Contaminantes en el Aire para el año 2030	30
Tabla 2 Clasificación de áreas fuente	31
Tabla 3 Concentraciones para los niveles de prevención, alerta o emergencia	31
Tabla 4 Comparativo número de habitantes 2002 versus 2020.	38
Tabla 5 Emisiones totales año 2016.....	45
Tabla 6 Resumen de empresas y fuentes fijas por municipio.....	49
Tabla 7 Clasificación de las actividades productivas.....	50
Tabla 8 Relación de fuentes por sector productivo	51
Tabla 9 Cantidad de fuentes de emisión de acuerdo al equipo utilizado.....	51
Tabla 10 Emisiones en toneladas de contaminantes atmosféricos.....	52
Tabla 11 Distribución de vehículos por municipio.	59
Tabla 12 Clasificación de los vehículos	59
Tabla 13 Parque automotor por categorías	60
Tabla 14 Emisiones de contaminantes por categoría vehicular	62
Tabla 15 Emisiones de contaminantes por tipo de combustible	63
Tabla 16 Emisiones de GEI por categoría vehicular	64
Tabla 17 Emisiones de GEI por tipo de combustible	65
Tabla 18 Factores de emisión de Erosión Eólica de TSP, PM ₁₀ y PM _{2.5} para el Área Metropolitana de Bucaramanga	72
Tabla 19 Emisiones por áreas descubiertas	72
Tabla 20 Estimación emisiones COV en los municipios	73
Tabla 21 Pérdidas por tanque.....	73
Tabla 22 Emisión por combustible almacenado.....	74
Tabla 23. Total de emisiones generadas por fuentes fijas y móviles	74
Tabla 24 Emisiones de GEI por fuentes móviles y fuentes fijas	75
Tabla 25 Temperatura y altura sobre el nivel del mar promedio	80
Tabla 26 Precipitación mensual estaciones año 2021	82
Tabla 27 Porcentaje de datos válidos de PM ₁₀ y PM _{2.5} por estación	89
Tabla 28 Porcentaje de datos válidos por estación y por contaminante	112
Tabla 29 Excedencias de la media móvil 3 años con respecto a la norma anual de PM ₁₀ para el año 2030. Estación Ciudadela.....	114

Tabla 30 Excedencias de la media móvil 3 años con respecto a la norma anual de PM _{2.5} para el año 2030. Estación Ciudadela.....	116
Tabla 31 Total habitantes municipios del área metropolitana de Bucaramanga.....	117
Tabla 32 Distribución de los equipos en las 4 estaciones de monitoreo.....	120
Tabla 33 Medidas para la línea de acción Industria.....	126
Tabla 34 Medidas para la línea de acción Transporte.....	128
Tabla 35 Medidas para la línea de acción Ordenamiento Territorial.....	130
Tabla 36 Medidas para la línea de acción Fortalecimiento Institucional.....	131
Tabla 37 Medidas para la línea de acción Educación y Comunicación.....	133
Tabla 38 Medidas para la línea de acción Movilidad Activa.....	133
Tabla 39 Niveles máximos permisibles de contaminantes en el aire para el año 2030.....	134
Tabla 40 Niveles recomendados por la OMS sobre calidad del aire y metas intermedias.....	134
Tabla 41. Niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión para sustancias de olores ofensivos.....	135
Tabla 42. Reducción de emisiones de material particulado para límites de 50 y 80 mg/m ³	136

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es considerada un problema creciente para la salud y el medio ambiente a nivel mundial. Según la política para el mejoramiento de la calidad del aire (CONPES 3943), esta contaminación se genera por emisiones de fuentes naturales, como los volcanes, y humanas, además por las emisiones de los vehículos e industrias que funcionan para satisfacer las demandas de una población urbana creciente que, para 2050, se estima que, superará en Colombia los 52 millones de habitantes.

La exposición de la población a la contaminación del aire tiene efectos negativos en la salud, generando costos sociales y económicos representados en enfermedades, restricción en el desarrollo de actividades, atenciones por el sistema de salud y muertes. En el país, estos costos se estiman en 12,2 billones de pesos, equivalentes al 1,5 % del PIB del año 2015 (DNP, 2018).

A continuación, se presenta el Plan de Gestión de la Calidad del Aire, una herramienta que propone una serie de medidas y acciones a partir del conocimiento de los diferentes sectores productivos que, en sus procesos, generan emisiones de contaminantes atmosféricos, principalmente, los que representan mayores riesgos para la salud y la atmosfera. Este producto se genera gracias al Convenio de Cooperación No 13364-17 del 2021 entre la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga y la Universidad Pontificia Bolivariana, que tiene como objeto *Aunar esfuerzos para formular el plan de gestión de la calidad del aire de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, para los municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga, conforme lo establecido en la Resolución MADS No. 2254 de 2017 y la política para el mejoramiento de la calidad del aire.*

1. OBJETO Y ALCANCE

1.1. OBJETO

Aunar esfuerzos para formular el plan de gestión de la calidad de aire de la corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB, para los municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga, conforme con lo establecido en la Resolución MADS No. 2254 de 2017 y la Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire documento CONPES 3943.

1.2. ALCANCE

- Construir el Plan de Gestión de la Calidad del Aire en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga.

- Realizar un diagnóstico de la calidad del aire en la jurisdicción de la CDMB, identificando los principales contaminantes, su evolución, cumplimiento de estándares y determinar la clasificación del tipo de área Fuente de contaminación, según los lineamientos de la Res. 2254 de 2017 de Min ambiente.

- Identificar los sectores relevantes que contribuyen a la contaminación en la jurisdicción y generar una propuesta de medidas de reducción de emisiones, considerando las acciones en curso y aplicando el modelo de inventario, para diferentes escenarios de reducción de emisiones.

- Establecer medidas y acciones orientadas a promover la gobernanza del PGCA en la jurisdicción de la CDMB, incluyendo medidas para el fortalecimiento del marco regulatorio local y la estructura organizacional al interior de la entidad.

- Formular el plan para la atención de episodios de contaminación del aire En la jurisdicción de la CDMB, que permita dar cumplimiento a los lineamientos establecidos en la Res 2254 de 2017.

- Generar asesoría y transferencia de conocimiento dirigida al fortalecimiento de la institucionalidad pública para la apropiación del PGCA y el POECA.

- Implementar la herramienta de análisis de calidad del aire a partir de los datos de la red de monitoreo de la calidad del aire de la CDMB.

2. CONTEXTO

Tal como se menciona previamente, la calidad del aire a nivel mundial ha venido teniendo un creciente interés desde los gobiernos nacionales debido a su importancia frente a la salud pública y los diferentes impactos sobre la población, la economía y otros aspectos importantes en el desarrollo de las regiones. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en su último informe de “Acciones sobre la Calidad del Aire”, en el año 2019, el 92% de la población mundial registró concentraciones de PM_{2,5} superiores al valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), exposición que, sin intervenciones normativas, aumentaría en un 50% para el año 2030, poniendo en peligro la calidad de vida y sería un riesgo de carácter vital en el mundo.

Específicamente para Colombia, como lo indica el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la contaminación atmosférica es uno de los problemas de mayor preocupación tanto para la salud como para el ambiente, siendo el tercer factor generador de costos sociales después de la contaminación del agua y los desastres naturales. Según el Departamento Nacional de Planeación – DNP, la mala calidad del aire en 2015 se relacionó con 8052 muertes en el país, lo cual conlleva a costos asociados de aproximadamente el 1,5% del PIB del año.

Este problema ambiental, ha propiciado efectos negativos que han generado la necesidad de impulsar la gestión de la calidad del aire con el fin de disminuir de manera escalada y efectiva la exposición a los contaminantes atmosféricos por parte de la población. Es por esto, que, desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y las Autoridades Ambientales, se ha iniciado el proceso de generación de lineamientos que permitan cumplir las metas tanto internacionales como nacionales en esta materia.

Para lograr elaborar herramientas útiles en la gestión de los recursos, es de suma importancia el conocimiento científico y técnico del comportamiento de los diferentes elementos que interactúan en los mismos y que de igual forma, juegan un papel importante en sus características. Dicho lo anterior, la contaminación atmosférica viene dada por un fenómeno de acumulación de ciertos contaminantes causantes de efectos adversos en el ambiente y la salud humana, los cuales son emitidos al aire como producto de actividades antropogénicas o naturales (solos o una combinación de ambas).

El aumento o intensificación de las actividades antropogénicas como la producción industrial, actividades agropecuarias, transporte, uso de solventes, quemas controladas y no controladas, crecimiento demográfico acelerado, entre otros, sumado a características como la meteorología, configuración topográfica de las áreas y la química atmosférica, pueden degradar la calidad del aire de manera progresiva. Estos factores se conocen como fuerzas motrices de la contaminación del aire.

El problema de contaminación atmosférica ha estado estrechamente relacionado principalmente a la quema de combustibles fósiles, partiendo del uso de carbón en los hogares en épocas pasadas o los procesos que se iniciaron con la revolución industrial trayendo innovación y avances tecnológicos y con ello mayores centros de producción industrial distribuidos mundialmente, los cuales a su vez dieron paso al incremento poblacional en los asentamientos hu-

manos formando grandes ciudades y de la misma forma, el aumento en el uso de recursos naturales y la explotación de combustibles fósiles. Con esto, la calidad del aire fue deteriorándose, dando paso en algunos casos a episodios históricos de contaminación atmosférica como el ocurrido en Londres en el año 1952, que dio paso a decretar la Ley de Aire Limpio del Reino Unido en el año 1956. Un escenario muy similar se presentó en Estados Unidos, quienes actualmente tienen una amplia influencia en los sistemas regulatorios en la materia de varios países del mundo, debido a su conocimiento, experiencia y grandes avances en la investigación de la temática.

Para la región de América Latina, la contaminación del aire ha estado asociada a procesos de industrialización, urbanización y motorización. En la década de los ochenta, se vio de manera generalizada el deterioro de la calidad del aire en grandes áreas metropolitanas como el Valle de México, Sao Paulo y Bogotá, las cuales en los años noventa, iniciaron el proceso de implementación de planes de gestión de la calidad del aire, que han servido como hoja de ruta para la reducción de la contaminación atmosférica y consecuente mejora de la calidad del aire. Sin embargo, el camino respecto a la calidad del aire es un desafío constante y dinámico al estar asociado a diversos factores que van siendo modificados con el paso del tiempo. Es muy importante aclarar, que actualmente la contaminación atmosférica y deterioro de la calidad del aire, no es exclusiva de las grandes ciudades, sino que se ha extendido a ciudades intermedias o de menor tamaño, por razones similares a las presentadas.

2.1. FUERZAS MOTRICES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

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 (Clean Air Institute, 2017).

Los contaminantes que se introducen en el aire tienen diversos orígenes y composición, y se han clasificado según sus efectos en la salud o en el ambiente como: criterio, tóxicos o peligrosos y de efecto invernadero. Los contaminantes criterio, se determinaron como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos a través de diversos estudios epidemiológicos, siendo los más comunes: Material Particulado menor a 10 micras -PM10, Material Particulado menor a 2,5 micras -PM2,5, Dióxido de Nitrógeno -NO₂, Dióxido de Azufre -SO₂, Ozono troposférico -O₃ y Monóxido de Carbono -CO. (IDEAM, 2020).

La transferencia e impactos de los contaminantes emitidos a los receptores de interés (poblaciones y ecosistemas) o nivel de inmisión, está gobernada principalmente por las características de las fuentes de emisión, el comportamiento de las variables meteorológicas de la atmósfera, la concentración de contaminantes en el aire, el tiempo de exposición a dichas concentraciones y las características del receptor. (MADS, 2022).

Se entiende como fuerza motriz (FM) las condiciones de carácter estructural tanto sociales, económicas y demográficas que afectan las condiciones ambientales en un territorio específico. La FM es la categoría donde las condiciones y los riesgos ambientales pueden desarrollarse o evitarse. Desde una perspectiva de determinación social, las fuerzas motrices se derivan de los procesos de producción, distribución y consumo que se definen en una determinada sociedad y que no corresponden con asuntos individuales sino más estructurales. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2014).

A continuación, se describen los principales factores o fuerzas motrices que actúan sobre la calidad del aire en nuestras regiones:

- ✓ Crecimiento demográfico: El crecimiento demográfico representa una de las fuerzas motrices de mayor importancia debido a que su evolución genera la demanda de mayor consumo energético y de recursos, generación de residuos y emisiones, así como el uso de suelos que en la mayoría de los casos se realiza sin una planeación adecuada. Mundialmente y según las Naciones Unidas, hasta 2009, vivían más personas en el campo que en la ciudad. En la actualidad, alrededor del 55 % de la población mundial vive en pueblos y ciudades, y se prevé que el nivel de urbanización será de casi un 70% en 2050. Adicionalmente, esta misma organización presenta datos que a pesar de que en la actualidad, las ciudades ocupan menos del 2% del total de la superficie terrestre del mundo, producen el 80 % del producto interno bruto (PIB) mundial y más del 70 % de las emisiones de carbono. (ONU, 2021).

Es de aclarar que todas las fuerzas motrices actúan de manera articulada, por lo que es válido decir que el crecimiento demográfico provoca consecuentemente un aumento en las actividades productivas, en la motorización, mayor consumo de recursos y por lo tanto generación de mayores cantidades de emisiones atmosféricas, que finalmente tendrán variaciones en comportamiento, teniendo en cuenta las condiciones topográficas y climáticas de la zona que se estudie.

- ✓ Desarrollo urbano y uso del suelo; Desarrollo económico: Las causas económicas y demográficas del crecimiento urbano son el resultado de la aglomeración o, lo que es lo mismo, del incremento en productividad y eficiencia por el solo hecho de estar juntos. La concentración de la actividad económica da lugar a una mayor división del trabajo y a un mayor crecimiento, el cual, por sí mismo, no crea un control adecuado sobre el medio ambiente urbano, pero constituye una condición necesaria, aunque no suficiente. El crecimiento de las ciudades ha estado mediado por un conjunto de cambios estructurales a los que le ha correspondido de alguna manera una posición sobre el suelo urbano. (PNUD, 2007). Lo anterior,

asociado con el crecimiento demográfico generan una gran presión sobre los recursos naturales y las dinámicas de estos.

De igual forma, sustituir coberturas naturales por superficies duras o despobladas, deriva en islas de calor, reducción de la capacidad de captura de contaminantes y por consiguiente en la elevación de los contaminantes atmosféricos.

- ✓ Patrones de producción y movilidad; Estado de tecnología y combustibles: acompañado a los 2 ítems anteriores, las ciudades, partiendo de su crecimiento, generarán patrones de producción y movilidad diferentes dependiendo de las dinámicas que allí se manejan. Es decir, se generan nuevos procesos económicos acompañados de grandes tasas de motorización para la movilidad de los habitantes, las cuales conllevan a consumos superiores de combustibles y con ello mayores emisiones. Dependiendo de la tecnología utilizada en estos procesos (tanto productivos como de movilidad) y los combustibles utilizados, la tasa de emisión y tipo de contaminantes emitidos variará.
- ✓ Características topográficas y meteorológicas y Química atmosférica: La morfología de los terrenos se refiere al tamaño, forma y disposición de los componentes del suelo y su relación con el paisaje. Esta, juega un rol muy importante debido a que puede hacer que los problemas por contaminación atmosférica puedan potenciarse. Un área montañosa o encañonada puede llevar a una retención de contaminantes, ya que este tipo de terrenos propicia que la dispersión de los contaminantes sea baja. Adicionalmente, factores climáticos poco favorables pueden actuar de manera sinérgica con las condiciones previas y agravar el problema de calidad del aire.

Adicionalmente, la temperatura ambiental, la humedad y la pluviosidad, la velocidad y 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. (AMVA, 2017).

Dentro de este factor o fuerza motriz, se considera de igual forma la química y física atmosférica, teniendo en cuenta que, dependiendo de las condiciones de la zona, se pueden presentar fenómenos como el de la inversión térmica, la cual consiste en una capa de aire frío que se ubica debajo de una capa de aire caliente, provocando que los contaminantes queden acumulados cerca del suelo y no se dispersen. Adicionalmente, como se ha mencionado previamente, existen contaminantes de carácter secundario que se forman de la interacción o reacciones en la atmósfera a partir de contaminantes primarios y otras especies químicas presentes en el aire.

Como consecuencia de estas características, se pueden presentar serios episodios de contaminación que representan un riesgo para la población, especialmente para los grupos sensibles.

- ✓ Factores culturales: Factores como las formas de conducción de las personas se pueden ver reflejados en aumentos de las emisiones generadas en una ciudad. Adicionalmente, el avance cultural se basa en actividades que de una u otra forma transformarán los territorios y más allá de un avance en tecnología para superar los problemas de contaminación atmosférica, se requiere un cambio cultural profundo que modifique los hábitos y maneras de hacer las cosas, así como el comportamiento en general de la comunidad.

2.2. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN

“La contaminación del aire o contaminación atmosférica es el fenómeno de acumulación o concentración de contaminantes en el aire en un tiempo determinado como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que causan molestias o efectos adversos en la salud de las personas y otros seres vivos, así como en el medio ambiente. Por su parte, el concepto de calidad del aire se refiere al estado de la contaminación atmosférica, dicho en otras palabras, es un indicador de qué tan contaminado se encuentra el aire y, por lo tanto, que tan apto es para ser respirado”. (IDEAM, 2021).

Teniendo en cuenta que las emisiones que se generan y degradan el aire tienen diferentes efectos en la salud y el ambiente, se clasifican en contaminantes criterio, tóxicos o peligrosos, climáticos de vida corta y de efecto invernadero. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.

Según estimaciones de 2016, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 4,2 millones de muertes prematuras; esta mortalidad se debe a la exposición a materia particulada de 2,5 micrones o menos de diámetro (PM2.5), que puede causar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer. (OMS, 2021).

Cada vez se encuentran más evidencias de la incidencia de la calidad del aire sobre la salud de la población, específicamente asociadas a riesgos de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer. La mala calidad del aire sumada a las condiciones y características del huésped, aumentan la susceptibilidad y probabilidad de sufrir algunas de las enfermedades antes mencionadas. Los principales y más susceptibles receptores son las personas de edad avanzada; los niños pequeños; las personas con un nivel de vida bajo, con deficiencias nutricionales, enfermedades infecciosas debido a problemas sanitarios, hacinamiento y escaso acceso a atención de salud; y las personas portadoras de enfermedades que estrechan las vías aéreas, que disminuyen

la superficie de intercambio gaseoso de los pulmones, o alteran la relación ventilación/circulación del pulmón. (OMS, 1999). 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).

“Las últimas estimaciones de la carga de morbilidad reflejan el importantísimo papel que desempeña la contaminación del aire en las enfermedades cardiovasculares y la mortalidad derivada. La OMS estima que aproximadamente el 58% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica que se produjeron en 2016 se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, mientras que el 18% de las muertes se debieron a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas, y el 6% de las muertes se debieron al cáncer de pulmón”. (OMS, 2021).

A continuación, se presentan los principales efectos sobre la salud y sobre el medio ambiente de los contaminantes atmosféricos más comunes:

- ✓ Material particulado: Sobre la salud se puede ver reflejado en Asma agravada, irritación de vías respiratorias y función pulmonar reducida, infartos al miocardio no mortales, latidos irregulares. Sobre el medio ambiente se puede presentar daño en los bosques sensibles y cultivos agrícolas, acidez de lagos y arroyos, cambio en el balance nutricional de las aguas costeras y de las grandes cuencas fluviales, así como la reducción de los nutrientes del suelo.
- ✓ Óxidos de nitrógeno: Sus efectos en la salud están comprendidos entre tos y sensación de falta de aliento, cansancio y náuseas, bronquitis y neumonía menor, resistencia a las infecciones respiratorias, entre otros. Para el medio ambiente representa riesgo ya que limita el crecimiento vegetal y causa afecciones metabólicas, acidificación y eutrofización de ecosistemas y en la atmósfera se transforma en ácido nítrico constituyendo la lluvia ácida.
- ✓ Ozono troposférico: El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos importantes sobre la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y dar lugar a enfermedades pulmonares, tos, dolor de cabeza, dolor de pecho y asma. Adicionalmente, sobre el ambiente puede reflejarse en menor rendimiento y calidad de las plantas y menor crecimiento de hojas y otros órganos vegetales.
- ✓ Dióxido de azufre: El SO₂ puede afectar al sistema respiratorio y a las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. Causa dificultad para respirar e inflamación de vías respiratorias, edema pulmonar, asma, bronquitis crónica y paros cardíacos. Cuando el SO₂ se combina con agua forma ácido sulfúrico, el componente principal de la lluvia ácida, que es una de las causas de la deforestación, adicionalmente genera necrosis foliar y deterioro en los suelos, afectando consecuentemente la producción de la vegetación.

Es importante mencionar que, en el año 2014, el 92% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las directrices de la OMS respecto a calidad de aire, sin embargo, para el año 2019 este porcentaje aumentó alcanzando un 99%. Adicionalmente, la OMS recalca que las personas que viven en países de ingresos bajos y medianos soportan de forma desproporcionada la carga que supone la contaminación del aire exterior, el 91% de las defunciones prematuras registradas se dan en países con este tipo de ingresos, principalmente de las Regiones de Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental de la OMS.

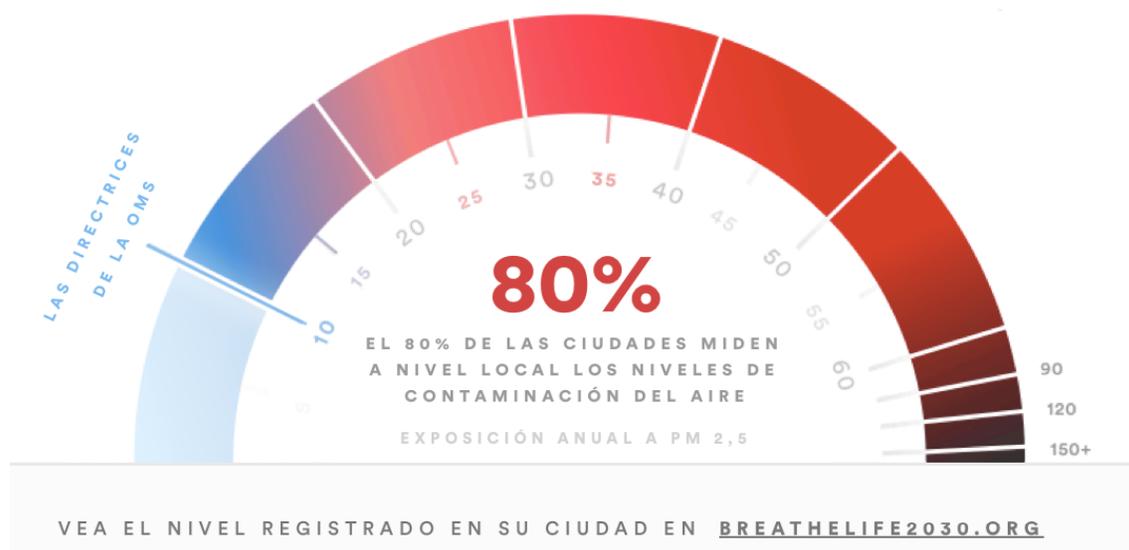
Es así como la OMS concluye que se requiere la implementación de medidas por parte de las ciudades, gobiernos y autoridades para contribuir a la mejora de la calidad del aire ya que la mayoría de las fuentes de esta contaminación están fuera de control de las personas, como el transporte, la gestión de residuos, entre otros. Si bien es cierto que desde las autoridades gubernamentales se deben dar los lineamientos necesarios, la participación de la comunidad es un aspecto clave en su eficacia.

Respecto a esta temática es muy importante considerar las Directrices de la OMS sobre la calidad del aire, las cuales están en constante actualización.

Figura 1 Infografía niveles de contaminación

EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE A NIVEL MUNDIAL

Más del 80% de las ciudades del mundo tienen niveles de contaminación que superan los límites establecidos en las directrices de la OMS sobre inocuidad del aire



Fuente: Biblioteca de infografía Breathelife.org. (shorturl.at/goE23).

2.3. ACCIONES GLOBALES SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE

En términos generales, mundialmente se han realizado grandes avances en materia de gestión de la calidad del aire, en pro de su mejoramiento. Es así como a través del Programa para el medio ambiente de la Organización de Naciones Unidas, se genera el documento "Acciones sobre la calidad del aire", el cual presenta de manera general la situación y tendencias de la contaminación atmosférica.

Siendo que esta problemática se ha establecido como una de las más importantes en términos de salud pública, en relación con el mandato establecido por la resolución 3/8 de la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente sobre la prevención y reducción de la contaminación atmosférica para mejorar la calidad del aire a nivel mundial, los estados miembros han generado acciones para llegar a este objetivo.

Según datos de PNUMA, respecto a los incentivos o políticas que se han generado en los países respecto a la producción más limpia, eficiencia energética y reducción de la contaminación de las industrias, se avanzó de 87 a 108 países en 2020, con este tipo de medidas para enfrentar la mala calidad del aire. Un ejemplo de esto es el Centro Nacional de Producción Limpia de Sudáfrica (NCPC-SA, por sus siglas en inglés), el cual es un programa gubernamental nacional que fomenta la aplicación de metodologías de producción más limpia y eficiente en el uso de los recursos para ayudar a la industria a reducir los costos mediante la disminución del uso de energía, agua y materiales y la gestión de los residuos. Este cambio positivo se ha generado a partir de la disponibilidad de recursos generada y la introducción de incentivos financieros mediante el impuesto sobre el carbono, lo cual ha estimulado a que las industrias lleven a cabo cambios en sus procesos y así cumplir la normativa aplicable.

De igual forma, se encuentra que se ha presentado un avance respecto a las normas de emisiones de vehículos Euro 4/I con 18 países adicionales que se han sumado en los últimos cinco años para adoptar esta norma o superiores, dando un total de 71 países que regulan la actividad relacionada al transporte mediante estos parámetros. Así mismo, países como Perú adoptaron medidas como la reducción en la antigüedad máxima permitida para la importación de vehículos usados, con el fin de disminuir la antigüedad del parque automotor y mejorar la calidad del aire mediante la reducción de emisiones. Este gobierno cuenta adicionalmente, con bonos de desguace para incentivar el recambio y renovación de la flota vehicular.

Lo anterior, sumado a que se deben seguir realizando esfuerzos en cuanto a la calidad de los combustibles utilizados, se convierte en un reto y aspecto clave en la aplicación de normas de emisiones de vehículos.

Otra de las medidas adoptadas por cada vez más gobiernos, está referida a la normativa sobre la quema de residuos sólidos, con un total de 38 países en donde está estrictamente regulada. A pesar de estos esfuerzos, 75 países aun no disponen de normativas para tan fin y en 56 países adicionales está regulada, pero se sigue practicando, por lo que el camino a recorrer en esta materia aun es largo. Algunas de las estrategias aplicadas por los gobiernos son la elaboración y ejecución de planes de gestión de residuos urbanos o nacionales hasta reglamentos de gestión de residuos y estrategias más avanzadas, como la captura de gases de vertederos y la mejora de los métodos de recogida, separación y eliminación de residuos ambientalmente racional. (PNUMA, 2021).

En cuanto a la contaminación del aire en los hogares, en todo el mundo se ha registrado un aumento en la disponibilidad de combustibles más limpios y una reducción global estimada de la carga de morbilidad asociada a las fuentes de calefacción y cocina en el ámbito doméstico desde 2016. Otros 13 países ya cuentan con programas nacionales para promover la energía limpia en la calefacción y la cocina en el ámbito doméstico. (PNUMA, 2021). Dentro de las iniciativas que resaltan se encuentra el cambio de combustible para cocinar en la India, donde se han puesto en marcha programas para hogares de ingresos bajos, utilizando gas licuado de petróleo (GLP).

Dentro de los grandes retos que se resaltan dentro del informe, se menciona que hay pocos indicios de que existan incentivos para promover prácticas agrícolas sostenibles, siendo este un punto débil dentro de los programas establecidos por los gobiernos. Sin embargo, se han presentado esfuerzos en esta temática a través de alternativas a la quema de residuos agrícolas, compostaje y sistemas para captura de metano para el uso de la energía.

Finalmente, en este informe presentado por PNUMA, se resalta la importancia de que los gobiernos o autoridades cuenten con instrumentos de gestión para la calidad del aire y adicionalmente instrumentos jurídicos que contengan normas que faciliten la aplicación y cumplimiento de las estrategias contra la contaminación atmosférica.

Se puede destacar que el listado de medidas que se han aplicado a nivel mundial es bastante amplio y los gobiernos se encuentran en el proceso de definición e implementación de estas dependiendo de las características particulares de cada región. Dentro de las principales y más destacadas estrategias utilizadas se encuentran los siguientes ejemplos:

- Región Metropolitana de Santiago de Chile: restringir el uso de leña como calefacción en las viviendas y gradualmente prohibir su uso, mejoras en los estándares térmicos para nuevas viviendas, implementación de restricciones permanentes y de dos dígitos para los vehículos con sello verde, creación de sello verde para camiones, revisiones técnicas anuales para maquinaria, exigencia de norma Euro VI y reducción en los límites permisibles de emisión de material particulado en procesos industriales, entre otros.
- Zona Metropolitana del Valle de México: El Gobierno de México publicó la Estrategia Nacional de Calidad del Aire, documento sobre el cual se basan los planes ProAire de este país. En el caso específico de esta zona metropolitana, se proponen medidas como la promoción del uso de vehículos híbridos y eléctricos para uso particular, de transporte público y de carga, promover mecanismos para desincentivar el uso de vehículos con carburador, fomentar la introducción de vehículos y motores con tecnologías de control avanzados en flotas gubernamentales y de empresas privadas., renovar flota vehicular de transporte de pasajeros de baja, mediana y alta capacidad, incremento del uso de energía solar para el calentamiento del agua en los sectores domésticos, de servicios e industrial, inclusión de criterios ambientales y de eficiencia energética en el diseño, construcción y remodelación de inmuebles, elaboración de normas para reducir el contenido de solventes orgánicos en productos de consumo personal y de uso en servicios, normas de emisión para el control de emisiones de mercurio, dioxinas y furanos, establecimiento de metas de reducción de emisiones para la industria y los servicios, entre otras.

Como los anteriores, se encuentran diversos ejemplos como los planes establecidos para las ciudades de Quito, Lima, San José de Costa Rica, entre otros. A nivel nacional, se encuentran

como referentes los planes establecidos para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y el plan para la descontaminación del Aire de Bogotá.

Se puede destacar que el listado de medidas que se han aplicado a nivel mundial es bastante amplio y los gobiernos se encuentran en el proceso de definición e implementación de estas dependiendo de las características particulares de cada región. Dentro de las principales y más destacadas estrategias. (AMVA, 2017).

El camino hacia las metas propuestas en los diversos planes y programas para la descontaminación del aire es un trabajo conjunto que debe desarrollarse desde los gobiernos hacia la participación activa de la población y los sectores productivos de las regiones. Esta participación es un elemento clave en el éxito de los programas y debe estar ligado a la concientización y sensibilización de todos los actores involucrados, lo que garantizará los mejores resultados posibles junto con la generación de políticas para resolver la problemática en cuestión.

2.4. ACUERDOS MUNDIALES SOBRE MEDIO AMBIENTE

El primer documento 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.

En el año 1983, la ONU creó la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida como la Comisión Brundtland, cuyo objetivo principal se enfocó en la relación entre estos dos elementos, y todas las implicaciones que acarrea.

Posteriormente en el año 1992, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo se continuó con el concepto de desarrollo sostenible, dándose a conocer 3 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). Es a partir del principio 10 de la Declaración de Río, que se reconoce el derecho a la información, la participación y la justicia, poniendo a la sociedad civil como un actor decisivo y activo en temas ambientales. Esta Convención fue ratificada por 195 países, reconociendo el problema del cambio climático y estableciendo lineamientos que fueron discutidos y finalmente aprobados en el año 1995. A partir de este año, la Conferencia se ha reunido con frecuencia anual en la llamada Conferencia de las Partes (COP).

En el año 1997 se presentó el protocolo de Kioto, estableciendo obligaciones jurídicamente vinculantes para los países desarrollados. En el año 2000 se aprueba la Declaración del Milenio, ratificando la importancia del concepto "sostenible" sobre el desarrollo económico, respetando los derechos humanos. El compromiso principal de estos acuerdos estaba enfocado en la reducción del hambre y la pobreza, disminución de enfermedades, inequidad de los sexos,

luchar contra la falta de educación, falta de acceso al agua y saneamiento y finalmente detener la degradación ambiental.

Para el año 2012 se desarrolló la Conferencia sobre el Desarrollo Sostenible, Rio+20, dando como resultado el documento “El futuro que queremos”, plasmando el compromiso sobre el desarrollo sostenible y un futuro sustentable. En el año 2015 se aprobó el “Acuerdo de París” para enfrentar el cambio climático, que entró en vigor el año 2016.

En este mismo año, se adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de la agenda de desarrollo sostenible. En esta se plantea el cumplimiento de las metas para el año 2030. Estos “Objetivos de Desarrollo Sostenible” incluyen 17 objetivos con 169 metas con el fin de resolver problemas medioambientales, sociales y económicos para desarrollar lo que quedó pendiente con los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

Esta agenda 2030, inició su implementación en el año 2016, abordando las diferentes problemáticas allí establecidas en búsqueda de equilibrar las tres dimensiones del desarrollo sostenible económico, social y ambiental.

3. MARCO LEGAL

3.1. CONTEXTO INTERNACIONAL

3.1.1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Los ODS son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030 (ONU,2015). Dentro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, se incluye el cambio climático, especificado en el **Objetivo 13 “Acción por el Clima”**. Este objetivo está enmarcado en los compromisos de Colombia adquiridos en el **Acuerdo de París y ratificado por la Ley 1844 del 14 de julio de 2017**.

Figura 2 Objetivos de Desarrollo Sostenible



Fuente: Organización de las Naciones Unidas, 2015.

Colombia se ubica dentro de los 40 países con mayor participación histórica en la producción de GEI, fundamentalmente a causa de la deforestación en el territorio nacional. En este sentido, Colombia se comprometió a reducir el 20% de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), con respecto al valor proyectado para el año 2030, teniendo como línea base el año 2010.

En materia de adaptación, el país priorizó entre otras, las siguientes acciones a 2030:



De la misma forma, el país viene desarrollando políticas y estrategias que buscan analizar los potenciales cambios en el clima, estudiar la vulnerabilidad y generar instrumentos de acción, como, por ejemplo:

- ✓ Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC).
- ✓ Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).
- ✓ Estrategia Nacional para la reducción de las emisiones debida a la deforestación y la degradación forestal (ENREDD+).
- ✓ La Estrategia Climática de Largo Plazo de Colombia E2050.
- ✓ Estrategia Colombia Carbono Neutral.

3.1.2. COALICIÓN DE CLIMA Y AIRE LIMPIO (CCAC)

La Coalición Clima y Aire Limpio para Reducir los Contaminantes Climáticos de Corta Vida (CCAC) es un marco de trabajo internacional voluntario cuyo objetivo es la acción concreta y sustancial para acelerar los esfuerzos para reducir los Contaminantes Climáticos de Corta Vida (CCCVs).

El enfoque inicial está centrado en el metano, carbono negro, ozono troposférico y muchos hidrofluorocarburos, apuntándose a la protección del medio ambiente y la salud pública, a la promoción de la seguridad alimentaria y energética, y a encarar el problema del cambio climático a corto plazo.

Se promueve y estimula la participación en la Coalición de todos los gobiernos nacionales, organizaciones regionales de integración económica (REIO, siglas en inglés), organizaciones intergubernamentales, organizaciones no gubernamentales (ONGs) y entidades del sector privado

comprometidas en acabar con los CCCVs de forma integrada, global y como un desafío colectivo son animados a participar en la Coalición (CCAC, 2014).

La coalición patrocina once iniciativas diseñadas para exponer cómo la acción tanto colectiva como individual de los socios puede reducir los CCVC de manera práctica y eficaz. Dentro de las iniciativas se encuentra:

- Abordar los CCVC derivados de la agricultura.
- Mitigar los CCVC y otros contaminantes de la producción de ladrillo.
- Reducir los CCVC de las cocinas y calefacciones domésticas.
- Reducir las emisiones de carbono negro de los vehículos y motores pesados diésel.
- Promover normas y tecnologías alternativas a los HFC.
- Acelerar las reducciones de metano y carbono negro del sector petrolero y el gas natural.
- Mitigar los CCVC en la gestión de residuos sólidos municipales.
- Financiar la mitigación de los CCVC.
- Llevar a cabo evaluaciones regionales de los CCVC.
- Apoyar la Planificación Nacional para la Acción sobre los CCVC.
- Salud particularmente en áreas urbanas.

A pesar de que el cambio climático y la contaminación del aire son consecuencia de las emisiones generadas por las mismas actividades antropogénicas, tales como, procesos industriales, transporte y actividades agropecuarias; históricamente, el estudio y manejo de estas temáticas ha sido objeto de enfoques diferentes, uno global como lo es el clima y el otro local como lo son los impactos en salud por la exposición de algunas de estas sustancias. Por esta razón, la Coalición del Clima y el Aire Limpio - CCAC, ha trabajado en el desarrollo de sinergias entre estos enfoques logrando la priorización de las acciones de mitigación relacionadas con los contaminantes climáticos de vida corta en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas - NDC. En la última actualización de las NDC, Colombia se destaca por ser el segundo país de la región en establecer compromisos de mitigación de CCVC y por establecer la meta más ambiciosa para este contaminante entre los países miembros de la CCAC.

En el marco del desarrollo de acciones para la reducción de la tasa de calentamiento global, desde el año 2012 el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático IPCC (por sus siglas en inglés), con apoyo de La Coalición del Clima y el Aire Limpio - CCAC (por sus siglas en inglés) han aunado esfuerzos para que los países miembros incorporen medidas de reducción, no solo de los Gases de Efecto Invernadero, sino de todos aquellos contaminantes con potencial de forzamiento climático, incluido las partículas de carbono negro (CN), el metano (CH₄), el ozono troposférico (O₃) y los hidrofluorocarbonos (HFC), estos últimos denominados Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC).

Dentro de los instrumentos del orden nacional, como se mencionó anteriormente se encuentra la Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta -

ENCCVC, la cual fue elaborada con apoyo de la CCAC y publicada en página web del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en 2020 y su objetivo es potenciar acciones que contribuyan a la reducción de emisiones de contaminantes climáticos de vida corta en Colombia en el corto y el mediano plazo.

La ENCCVC entre sus acciones 2020-2022 a implementar contempla:

- ✓ Desarrollar metodologías que permitan determinar la reducción de contaminantes climáticos de vida corta en las acciones existentes de mitigación de gases de efecto invernadero y de contaminantes criterio
- ✓ Crear dinámicas de investigación coherentes con las necesidades nacionales alrededor de los contaminantes climáticos de vida corta
- ✓ Adaptar y/o diseñar lineamientos para los diferentes tipos de actores del gobierno, autoridades ambientales y sector privado con el fin de que integren en su gestión acciones que tiendan a reducir las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta
- ✓ Generar espacios de intercambio y divulgación de experiencias relacionadas con el uso de las herramientas y metodologías para estimar el costo-beneficio y los beneficios múltiples asociados a la reducción de emisiones de contaminantes climáticos de vida corta, con el fin de fortalecer las capacidades técnicas institucionales y crear sinergias positivas con otros programas y estrategias del gobierno.

3.1.3. PLAN DE ACCIÓN REGIONAL DE COOPERACIÓN INTERGUBERNAMENTAL EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.

El Plan de Acción Regional de Cooperación Intergubernamental en materia de Contaminación Atmosférica para América Latina y el Caribe es una iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Oficina Regional para América Latina y el Caribe) con el fin de brindar una guía voluntaria para la elaboración de planes de acción nacionales acordes a las particularidades de cada país con énfasis en el intercambio técnico, el desarrollo de capacidades y el diseño de alternativas para reducir la contaminación del aire.

La Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica para América Latina y el Caribe (Red Intergubernamental) fue creada en 2008 mediante una decisión del Foro de Ministros de Medio Ambiente. Los objetivos de la Red son: a. Promover el intercambio técnico de investigaciones e información sobre la gestión de la calidad del aire, así como el fortalecimiento de capacidades; b. Armonizar la legislación, las normas, los métodos de monitoreo y los procedimientos de gestión de datos sobre gestión de la calidad del aire en el ámbito nacional; c. Evaluar y proponer opciones de políticas para reducir la contaminación atmosférica; y d. Dar apoyo al desarrollo y la implementación de un plan de acción regional con el objetivo de reducir la contaminación atmosférica en la región.

De manera general, el Plan de Acción Regional de Cooperación Intergubernamental en materia de Contaminación Atmosférica para América Latina y el Caribe responde al mandato del

Foro de Ministros de Medio Ambiente. Adicionalmente, su objetivo general está dirigido a formular directrices comunes a corto, mediano y largo plazo, para los miembros de la Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica de América Latina y el Caribe, con el objeto de reducir la contaminación atmosférica en la región y mitigar las emisiones de contaminantes prioritarios, y disminuir de forma sustancial su impacto a nivel local, regional y mundial, de tal manera que se reduzcan los impactos negativos y los riesgos para la salud humana y el medio ambiente basados en estándares armonizados.

Dentro de los parámetros establecidos en el Plan, y debido al impacto que representan sobre la calidad del aire y/o el cambio climático y consecuentemente sobre la salud de la población, ecosistemas, economía, entre otros, se priorizaron los siguientes contaminantes:

- Material particulado respirable (PM₁₀ y PM_{2.5}) con especial atención a su tamaño y toxicidad incluyendo el carbono negro (BC).
- Ozono troposférico (O₃), incluyendo sus precursores: Hidrocarburos (HC), incluidos los compuestos orgánicos volátiles (COV); Óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Dióxido de azufre (SO₂).
- Monóxido de carbono (CO).
- Compuestos tóxicos.

Teniendo en cuenta el comportamiento y evolución de la calidad del aire regional, así como la eficacia de las acciones implementadas, los gobiernos nacionales podrán revisar y/o modificar la lista de contaminantes prioritarios de acuerdo con las necesidades particulares.

Este documento es un insumo muy importante dentro de la generación de conocimiento y estrategias para la gestión de la calidad del aire de las regiones.

3.2. CONTEXTO NACIONAL

3.2.1. POLÍTICA PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE AIRE

El gobierno nacional, a través del Consejo Nacional de Política Económica y Social, aprobó el documento CONPES 3344 de 2005, el cual representa los lineamientos que se deben tener en cuenta para la definición de las políticas y estrategias nacionales y locales de prevención y control de la contaminación del aire causada por fuentes fijas y móviles.

A las Corporaciones Autónomas Regionales, CAR y autoridades ambientales de los centros urbanos les compete ejercer el control policivo de las fuentes de contaminación, exigir el cumplimiento de las regulaciones y efectuar el monitoreo de la calidad del aire. Esas autoridades pueden adoptar las regulaciones nacionales o hacerlas más estrictas, de acuerdo con las realidades ambientales, demográficas, económicas y tecnológicas de las distintas regiones.

El documento CONPES 3943 de 2018 representa la política para el mejoramiento de la calidad del aire, la cual propone acciones para reducir las concentraciones de contaminantes en el

aire a través de la renovación y modernización del parque automotor, la reducción del contenido de azufre en los combustibles, la implementación de mejores técnicas y prácticas en la industria, la optimización de la gestión de la información, el desarrollo de la investigación, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo por contaminación del aire. Entre los actores involucrados en esta política se encuentran el Ministerio de Transporte, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, el Ministerio de Salud y Protección Social, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, la Unidad de Planeación Minero-Energética y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Los objetivos generales del documento CONPES 3943 de 2018, son Reducir las emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles, Reducir las emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes fijas y mejorar las estrategias de prevención, reducción y control de la contaminación, desarrolladas mediante diversas líneas de trabajo para tener en cuenta por las autoridades regionales.

Adicionalmente, el "Pacto por la sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo" del PND 2018-2022 establece la necesidad de "mejorar la calidad del aire, del agua y del suelo para la prevención de los impactos en la salud pública y para la reducción de las desigualdades relacionadas con el acceso a recursos", e incluye una meta enfocada en la disminución de los niveles de material particulado anuales: pasar del 22% al 35% de estaciones de monitoreo de PM₁₀ cumpliendo el objetivo intermedio 3 de la OMS: 30 µg/m³ [DNP, 2019]. Para tal fin se priorizan acciones enfocadas a la reducción de emisiones contaminantes generadas por fuentes móviles y fijas, entre las que se encuentran: renovación tecnológica tanto en la industria como del parque automotor, aumento del ingreso de vehículos de cero y bajas emisiones, implementación de la etiqueta vehicular, actualización de los estándares de emisión, mejoramiento de la calidad de los combustibles, fortalecimiento de los centros de diagnóstico automotor (CDA), reducción de la evasión de la revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes, fomento a la economía circular en procesos productivos, incremento de instrumentos financieros para incentivar el sector productivo, aumento de la cobertura y disponibilidad de información de emisiones y calidad del aire y, apoyo a las autoridades ambientales en el fortalecimiento al control y vigilancia de las emisiones, entre otras.

A partir de lo relacionado anteriormente y de diversos informes acerca del estado de la calidad del aire a nivel nacional, presentados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, así como las mediciones recopiladas en los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible generó un diagnóstico general del estado de la calidad del aire para el país, lo cual sirvió de base para la elaboración de la Estrategia Nacional de Calidad del Aire. En el mencionado documento, se definen acciones enmarcadas en las líneas de: reducción de emisiones provenientes de diversas fuentes, fortalecimiento técnico y científico, atención y prevención de los estados excepcionales de contaminación atmosférica, financiación para fortalecer la gestión y gobernanza de la calidad del aire.

El principal objetivo de esta Estrategia y la implementación de acciones en las líneas antes mencionadas, es dar cumplimiento a la meta establecida de pasar de un 22% a un 35% el número de estaciones de monitoreo cumpliendo el objetivo intermedio 3 de la Organización Mundial

de la Salud - OMS para PM10: 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y así mismo, reducir los niveles de contaminación considerando el reto establecido para 2030 (Las estaciones de monitoreo deben cumplir con promedios anuales de PM más estrictos: PM10: 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y PM2.5:15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) para finalmente mejorar la calidad de vida de los colombianos.

A continuación, se detallan los objetivos de la Estrategia Nacional de Calidad del Aire:

Mejorar la calidad del aire con énfasis en la reducción de material particulado en áreas urbanas, garantizando así la protección del ambiente y la salud de los colombianos. Sus objetivos específicos son:

- Fortalecer y actualizar instrumentos normativos y técnicos que permitan la reducción de emisiones a la atmósfera.
- Fortalecer el conocimiento técnico científico para avanzar en la gestión de la calidad del aire en el país.
- Generar lineamientos para proteger la salud de los ciudadanos y prevenir los estados excepcionales de contaminación atmosférica.
- Crear las condiciones habilitantes para facilitar la financiación y así fortalecer la gestión integral de la calidad de aire en el país.
- Definir los lineamientos del modelo de gobernanza de la calidad del aire para el país.

3.2.2. NORMATIVIDAD PARA LA CALIDAD DEL AIRE

La norma de calidad del aire en Colombia fue expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución 601 del 04 de abril de 2006, la cual fue modificada por la Resolución 610 de 2010, que establece los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio que deben cumplirse en todo el territorio nacional, en condiciones de referencia.

Dada la necesidad de incorporar un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes, incluir nuevos contaminantes y definir elementos técnicos integrales para mejorar la gestión de la calidad del aire, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible publicó la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017, la cual establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera.

En el Artículo 2°, párrafo 1 del Capítulo I, la Resolución 2254 de 2017 establece que, a partir del 1 de julio de 2018, los niveles máximos permisibles de PM10 y PM2.5 para un tiempo de exposición 24 horas serán de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. El Artículo 3 establece los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio que regirán a partir del 1 de enero del año 2030, la cual se relaciona en la *Tabla 1*; con lo cual indica a las autoridades ambientales la meta de reducción que debe alcanzar para asegurar un ambiente sano para la población.

Tabla 1 Niveles Máximos Permisibles de Contaminantes en el Aire para el año 2030

Contaminante	Nivel máximo Permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PM10	30	Anual
PM2.5	15	Anual
SO2	20	24 horas
NO2	40	Anual

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2017

- **Manejo de olores ofensivos**

La Resolución 1541 de 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece reglas para la recepción de quejas, los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión y el procedimiento para la evaluación de actividades que generan emisiones de olores ofensivos. De igual manera, regula el Plan para la Reducción del Impacto por Olores Ofensivos y Plan de Contingencia.

También establece que, para la evaluación de la queja, la autoridad ambiental competente seguirá el procedimiento establecido en el Protocolo para el Monitoreo, Control y Vigilancia de Olores Ofensivos (adoptado mediante Resolución 2087 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). En el Artículo 5° de la Resolución 1541 de 2013 se presentan las sustancias generadoras de olores ofensivos por actividad y los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión.

- **Normatividad para emisión de ruido y ruido ambiental**

El Artículo 9 de la Resolución 0627 del 7 de abril 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece los estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles ponderados A (dB(A)).

- **Declaración de área fuente**

Las "Áreas Fuente" de Contaminación son aquellas áreas previamente clasificadas 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.

Las cuatro clases de áreas-fuente de contaminación definidas en el Decreto 979 de 2006 y el tipo de medidas que deberán ser tomadas en cada una de estas áreas, se muestran en la

Tabla 2. El decreto establece que, para la estimación de la frecuencia de excedencias se utilizarán medias móviles, las cuales se calculan con base en las mediciones diarias. Para la clasificación de las áreas-fuente, bastará que la frecuencia de excedencias de un solo contaminante haya llegado a los porcentajes establecidos para cada una de las áreas de contaminación.

Tabla 2 Clasificación de áreas fuente

	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
Área de contaminación	Alta	Media	Moderada	Marginal
Frecuencia de superación de la norma anual	≥ 75%	> 50% y < 75%	> 25% y < 50%	> 10% y < 25%
Medidas	De contingencia, suspensión del establecimiento de nuevas fuentes de emisión. Programas de Reducción hasta por 10 años.	De contingencia, restricción del establecimiento de nuevas fuentes de emisión. Programas de Reducción hasta por 5 años.	Control de los niveles de Contaminación. Programas de Reducción hasta por 3 años.	Control de los niveles de contaminación para la disminución de la concentración de contaminantes o por lo menos estables.

Fuente: Decreto 979 de 2006

La Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017), en su Artículo 15 del Capítulo III también establece la necesidad de elaboración de programas de reducción de la Contaminación del aire en aquellas zonas declaradas como área-fuente de contaminación y por tanto en las zonas en donde se excedan las normas de calidad del aire, la autoridad ambiental competente, deberá elaborar un programa de reducción de la contaminación, identificando acciones y medidas que permitan reducir los niveles de concentración de los contaminantes a niveles por debajo de los máximos establecidos, considerando para su aplicación acciones y medidas contempladas en el artículo 15.

Adicionalmente, el Artículo 10 de la Resolución 2254, redefine los rangos de concentración y el tiempo de exposición bajo la cuales se deben declarar por parte de las autoridades ambientales competentes los niveles de prevención, alerta o emergencia, los cuales son indicados en la *Tabla 3*.

Tabla 3 Concentraciones para los niveles de prevención, alerta o emergencia

Contaminante	Tiempo de exposición	Prevención	Alerta	Emergencia
PM10	24 horas	155-254	255-354	≥355
PM2.5	24 horas	38 – 55	56 – 150	≥151
O3	8 horas	139 – 167	168 - 207	≥208
SO2	1 hora	198 – 486	487 – 797	≥798
NO2	1 hora	190 – 677	678 – 1221	≥1222
CO	8 horas	10820 - 14254	14255 – 17688	≥17689

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2017

- **Política de transporte**

La Política Nacional de Transporte Urbano y Masivo (CONPES 3260, 2003) busca fortalecer la capacidad institucional para planear y administrar el tráfico y transporte urbano e impulsar el

desarrollo de los Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM) en las ciudades con más de 600.000 habitantes. Esta política promueve la utilización de combustibles limpios tales como el gas natural o el Diésel con contenido de azufre menor a los 50 ppm para la operación de los SITM.

El documento CONPES 3759 de 2013, 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, orientado a mitigar los efectos negativos de las principales externalidades del transporte (contaminación, congestión, accidentalidad, costos variables), y a proponer medidas integrales para la mejora de las condiciones de los actores: propietarios, clientes del servicio, conductores y sus familias, y la sociedad en general.

- **Ley de planeación urbana**

La Ley 1083 de 2006 establece algunas normas sobre planeación urbana sostenible que son necesarias para asegurar una mejor calidad del aire en los centros urbanos, las cuales se centran en el tema de la movilidad. El artículo 1 de la ley señala que con el fin de dar prelación a la movilización en modos alternativos de transporte, entendiendo por estos el desplazamiento peatonal, en bicicleta o en otros medios no contaminantes, así como los sistemas de transporte público que funcionen con combustibles limpios, los municipios y distritos que deben adoptar Planes de Ordenamiento Territorial en los términos del literal a) del artículo 9º de la Ley 388 de 1997, formularán y adoptarán Planes de Movilidad según los parámetros de que trata la presente ley.

Los vehículos vinculados al transporte masivo de pasajeros que a la fecha de expedición del reglamento que determine cuáles son los combustibles limpios no funcionen con alguno de los mismos, deberán ser reemplazados por vehículos que funcionen con este tipo de combustibles, cuando sean objeto de reposición por el cumplimiento del término de su vida útil (Parágrafo del artículo 6, Ley 1083 de 2006).

En el Capítulo II, la Ley 1083 de 2006 dicta algunas disposiciones sobre gestión ambiental y establece que cuando la autoridad ambiental competente declare en un área determinada de un distrito o municipio con plan de ordenamiento territorial, el nivel de prevención, alerta o emergencia, restringirá o prohibirá inmediatamente y durante el período de tiempo estrictamente necesario, la circulación de vehículos de transporte público o privado que no funcionen con combustibles limpios en el área objeto de la declaración, salvo que sea manifiesto que las fuentes móviles no tienen incidencia relevante en el respectivo episodio ambiental.

- **Emisiones de fuentes móviles**

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, expidió [la Resolución 910 de 2008](#), la cual reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, que estaban vigentes desde hace más de 10 años.

La resolución incluye reglamentación para motocicletas, Normas Técnicas Colombianas para procedimientos de inspección y seguimiento, límites de emisión de contaminantes para combustibles disponibles en el país, revisión a vehículos convertidos y que utilicen mezclas de los mismos. Para los vehículos convertidos a gas natural, se estableció la obligación de realizar la revisión de gases utilizando este combustible y no el combustible para el cual el vehículo estaba originalmente diseñado. Esto último debido a las dificultades que han tenido este tipo de vehículos al momento de realizar la revisión técnico-mecánica y de gases.

- **Emisiones de fuentes fijas**

Mediante la Resolución 909 del 5 de junio de 2008, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Hoy MADS), establece normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas. Esta Resolución junto con sus modificaciones, direcciona el seguimiento de las emisiones para actividades industriales, equipos de combustión externa, centrales térmicas con capacidad instalada igual o superior a 20MW, centrales térmicas con capacidad instalada menor a 20MW y plantas de cogeneración, industrias de fabricación de productos textiles, equipos de combustión externa que utilicen biomasa como combustible, fabricación de productos de la refinación del petróleo, industrias de producción de cemento, concreto y agregados, industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, instalaciones de tratamiento térmico de subproductos de animales, entre otros.

De igual forma, la norma relaciona los métodos de medición de referencia para para fuentes fijas mediante el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Este protocolo contiene los métodos de medición de referencia para fuentes fijas, los procedimientos de evaluación de emisiones, la realización de estudios de emisiones atmosféricas y vigilancia y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas.

- **Movilidad sostenible**

Por medio de la [Ley 1964 del 11 de julio de 2019](#) se promueve el uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones en Colombia con el fin de contribuir a la movilidad sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero.

El Ministerio de Transporte, a través de la [Resolución 20203040015885](#), reglamentó los Planes de Movilidad Sostenible y Segura para los municipios, distritos y áreas metropolitanas obligados en adoptar el Plan de Ordenamiento Territorial. Los municipios, distritos y áreas metropolitanas que cuenten con una población superior a los 100.000 habitantes, deberán efectuar los Planes de Movilidad teniendo en cuenta el Plan Nacional de Desarrollo "Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad". Este documento incluye lineamientos que corresponden a ejecutar y definir la orientación de las políticas de movilidad, a partir de objetivos y metas sostenibles, articulados con los respectivos Planes de Ordenamiento Territorial, garantizando la formulación y ejecución de estrategias, programas y proyectos con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas y la competitividad de la entidad territorial.

- **Combustibles**

Por medio de la Resolución 898 de 1995 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores. La Resolución 623 de 1998, modifica parcialmente la Resolución 898 de 1995, en lo referente a la calidad del carbón mineral o sus mezclas para la utilización como combustible.

El Ministerio de Minas y Energía y el hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, expidieron la Ley 1205 de 2008 con el propósito de mejorar la calidad del Diésel, mediante la disminución progresiva de los niveles de azufre presentes en dicho combustible hasta alcanzar los estándares internacionales que indican que dichos niveles deben ser inferiores a 50 ppm. Establece que se deberá utilizar Diésel de menos de 50 ppm de azufre a partir del 1° de enero de 2010 y que, a partir del 31 de diciembre de 2012, queda prohibido distribuir, comercializar, consumir o transportar combustibles Diésel que contengan más de 50 ppm de azufre, con excepción de aquel que se importe o produzca para fines exclusivos de exportación.

Mediante el documento CONPES 3510 de 2008, el Gobierno Nacional estableció los lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, aprovechando las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen los mercados emergentes de biocombustibles. de manera competitiva y sostenible.

Mediante la Resolución 2604 de 2009, los Ministerios de Minas y Energía, de la Protección Social y del hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, determinaron cuáles son los combustibles limpios, teniendo como criterio fundamental su contenido de componentes nocivos para la salud y el medio ambiente. El artículo 5 de dicha Resolución establece que se consideran combustibles limpios los siguientes:

- Hidrógeno
- Gas natural (GN)
- Gas licuado de petróleo (GLP)
- Diésel hasta de 50 ppm de azufre
- Mezclas de diésel con biodiésel. La mezcla no debe superar 50 ppm de azufre
- Gasolina hasta de 50 ppm de azufre
- Mezclas de gasolina con alcohol carburante o etanol anhidro desnaturalizado. La mezcla no debe superar 50 ppm de azufre.

La Ley 1972 de 2019 tiene por objeto establecer medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles que circulen por el territorio nacional, haciendo énfasis en el material particulado, con el fin de resguardar la vida, la salud y goce de ambiente sano. En su Artículo 4 establece que a partir del 1 de enero de 2023 las fuen-

tes móviles terrestres con motor ciclo diésel que se fabriquen, ensamblen o importen al país, con rango de operación nacional, tendrán que cumplir con los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes al aire correspondientes a tecnologías Euro VI, su equivalente o superiores. En el Artículo 3 se define que el Ministerio de Minas y Energía desarrollará las acciones pertinentes para garantizar la producción, importación, almacenamiento, adición y calidad en la distribución de combustibles necesarios para el cumplimiento de los estándares de emisión definidos en la presente ley.

3.3. CONTEXTO LOCAL

3.3.1. PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL REGIONAL 2015-2031

El PGAR 2015-2031 (CDMB, 2014), es un instrumento de planificación de largo plazo, que permite orientar la gestión y la integración de las actividades de todos los actores regionales, hacia el desarrollo sostenible de toda la región. La Visión regional consiste en que “En el 2031 la región nororiental de Santander será un territorio ordenado ambientalmente, modelo del desarrollo sostenible, incluyente y equitativo, que permita la participación responsable por parte de actores sociales comprometidos frente a la protección y conservación del recurso hídrico y los ecosistemas estratégicos, la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático”.

Según el PGAR, la CDMB realiza el seguimiento, monitoreo y control de la calidad del aire en el área metropolitana de Bucaramanga, por medio de la red de monitoreo que cuenta con cinco (5) estaciones químicas y de material particulado, ubicadas en la zona Centro, en la Ciudadela, Floridablanca, Chimitá y zona Norte; por otra parte, cuenta con cuatro (4) estaciones micro meteorológicas ubicadas una en el centro, en Chimitá, en la UIS y en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales –PTAR. Todo este sistema, permite monitorear los resultados del Índice de Calidad de Aire de Bucaramanga y su área metropolitana –IBUCA en las diferentes estaciones, 87 las cuales miden la concentración de los siguientes contaminantes: PM₁₀, SO_x, NO_x, CO y O₃.

En el programa de Desarrollo Sectorial Ambientalmente Sostenible, en el marco del mejoramiento de la calidad del aire, como meta programada a mediano plazo 2020-2021 se contempló realizar el monitoreo de la calidad del aire y ruido ambiental en el área metropolitana de la región. Entre los indicadores formulados para el cumplimiento de los objetivos de este programa se encuentra el registro de la calidad del aire en centros poblados mayores de 100.000 habitantes y corredores industriales.

3.3.2. PLAN DE ACCIÓN 2020-2023

El Plan de Acción Cuatrienal para el período 2020-2023 “El Agua Nos Une” de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB, es una herramienta de planificación y planeación de la gestión institucional y territorial, en el que la partici-

pación, el consenso, la construcción colectiva, la generación de conocimiento para la toma de decisiones, y las prioridades de intervención son los pilares que focalizan los esfuerzos y gestión de la Entidad.

El elemento articulador para el periodo 2020-2023 es el AGUA, por lo tanto, las líneas estratégicas con sus programas, proyectos y actividades giran en torno a este elemento natural:

- ✓ Línea Estratégica No 1. Una CDMB: Moderna, Incluyente y Participativa;
- ✓ Línea Estratégica No 2: Seguridad Hídrica, Atmosférica y Geológica un reto Común para la Jurisdicción de la CDMB.
- ✓ Línea Estratégica No 3: La Estructura Ecológica Principal de la CDMB: viable a mediano y largo Plazo.
- ✓ Línea Estratégica No 4: Un Tejido Social AMIGABLE con los Recursos Naturales Renovables en la CDMB.

En la línea estratégica 2, mediante el programa “Una CDMB resiliente, adaptada y preparada para sus riesgos”, se plantea en uno de los objetivos “Fortalecer la red de monitoreo del aire y geodinámica, hacia la implementación de un sistema de seguridad atmosférica y geodinámica del entorno urbano del Área Metropolitana de Bucaramanga”.

3.3.3. CONSEJO TERRITORIAL EN SALUD AMBIENTAL (COTSA)

Por medio del Decreto 213 del 20 de agosto del 2013, se crea el Consejo Territorial en Salud Ambiental del Departamento de Santander (COTSA), el cual tiene como objetivo coordinar y orientar la adopción y adaptación de la Política Integral de Salud Ambiental, al igual que su respectivo seguimiento y evaluación en el Departamento de Santander.

El COTSA está conformado por diferentes entidades públicas como la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS, CDMB, Secretarías municipales y departamentales, Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar ICBF, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos INVIMA, entre otros; quienes hacen parte de las siguientes mesas de trabajo:

1. Mesa de Agua y Saneamiento Básico
2. Mesa de ETV y Zoonosis
3. Mesa de Calidad e Inocuidad Alimentaria
4. Mesa de Calidad del Aire
5. Mesa de Seguridad Química
6. Mesa de Entornos

En este consejo la CDMB ejerce un liderazgo importante en la Mesa de Calidad del Aire. La gestión de esta mesa técnica está dirigida a coordinar acciones intersectoriales en pro de la prevención de eventos en salud que están relacionados con la contaminación del aire, involucrando políticas de desarrollo sostenible en procesos de promoción de la salud, el fortalecimiento de

procesos de comunicación del riesgo, el control de emisiones atmosféricas por fuentes fijas y móviles, la vigilancia de la contaminación electromagnética, acústica y la generada por olores ofensivos, la educación ambiental y en salud con comunidades y desarrollo de medidas para el mejoramiento de la calidad de aire y la salud de los habitantes del departamento de Santander.

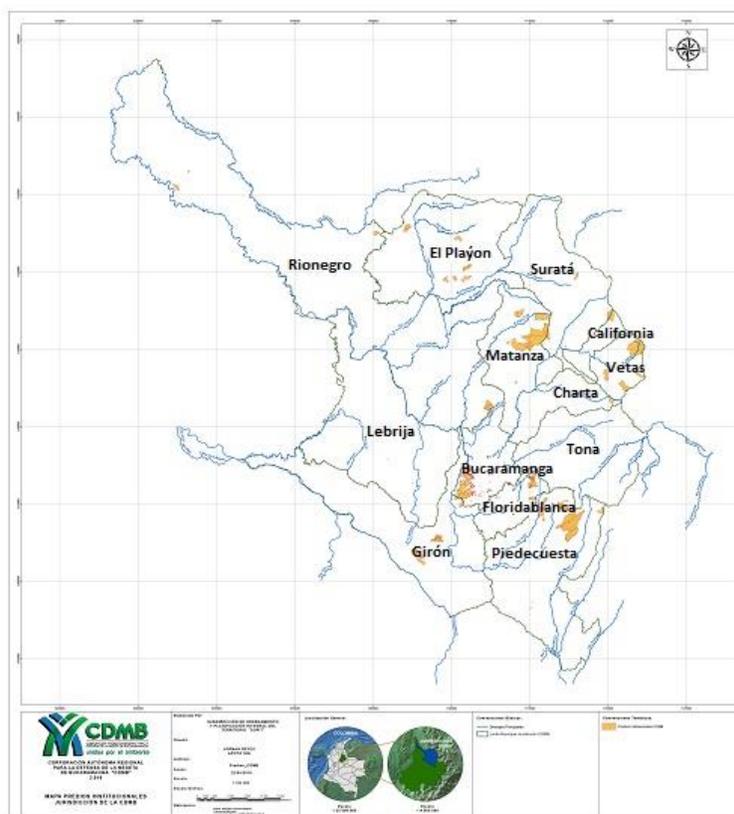
4. BASES PARA EL PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA

A continuación, se presenta la descripción general del área para la cual se plantea el Plan de Gestión de la Calidad del Aire, así como el diagnóstico de la calidad del aire identificando los principales contaminantes, su evolución, cumplimiento de estándares, a partir de información primaria y/o secundaria.

El nororiente del departamento de Santander corresponde a la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB, comprendiendo una superficie de 486.360 hectáreas, que representan el 15,9% de la de la superficie Departamental.

Figura 3 Área jurisdicción CDMB



Fuente: CDMB

El área jurisdicción de la CDMB, como se presenta en la Figura 3, corresponde a trece (13) municipios: Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta, Vetas, California, Suratá, Matanza,

Charta, Tona, El Playón y Rionegro y Lebrija. Sin embargo, el área de influencia donde se implementará el Plan de Gestión para la Calidad del Aire está integrado por cuatro (4) municipios: Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta, los cuales conforman el área metropolitana de Bucaramanga.

Estos municipios forman una conurbación que se encuentra ubicada en el valle del Río de Oro, donde su núcleo principal es el municipio de Bucaramanga al ser el que cuenta con mayor número de habitantes. Es de anotar que estos municipios de igual forma se encuentran inscritos en la cuenca alta del río Lebrija, del río Sogamoso y en menor proporción a la cuenca del río Chicamocha. La zona urbana de los municipios pertenece a la subcuenca del Río de Oro y hacen parte de la zona hidrográfica del Magdalena Medio. Las microcuencas Río Frio, Oro Medio y Oro Bajo son las más pobladas y las de menor densidad de población corresponden a Río Lato y Oro Alto. (AMB, 2016). Adicionalmente, la altura media sobre el nivel del mar en estos municipios es de aproximadamente 959 metros.

La estructura de gobierno en cada uno de estos municipios es independiente, sin embargo, se integran a nivel de servicios públicos y problemáticas comunes. Del territorio total que tiene una extensión de 116586 Ha, el 94% corresponde a sector rural y el 6% restante a la zona urbana. (AMB, 2016).

Las actividades económicas aquí desarrolladas varían entre la avicultura, la fabricación del calzado, industria de alimentos, bebidas y tabaco, entre otras. Sin embargo, es importante resaltar que se encuentra una amplia tasa de informalidad como generación de empleo en la región.

4.1.1. CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO

Según información reportada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), en el año 2020 se registró un total de 1.270.187 habitantes para los 4 municipios del área metropolitana de Bucaramanga. Para el año 2030 se proyecta una población total de 1.371.858 habitantes (aumento aproximado del 8%), asociado a un crecimiento demográfico y urbano que se ha venido evidenciando en los últimos años. Realizando un comparativo entre la población registrada en el año 2002 (897.720 habitantes) y la registrada para el año 2020 se refleja una tasa de crecimiento de aproximadamente 41%. Según datos del AMB y ONU Hábitat (2016), el 68,2% de la población urbana del departamento de Santander, se localiza en estos cuatro municipios en una extensión que corresponde a tan solo el 3,54% del territorio del departamento, reflejando así una densidad poblacional alta.

De igual forma, se observa que en 2020 la mayoría de la población del AMB se encuentra en la zona urbana (94%), con 74.082 personas habitando en zonas rurales lo que corresponde al 6% restante.

Tabla 4 Comparativo número de habitantes 2002 versus 2020.

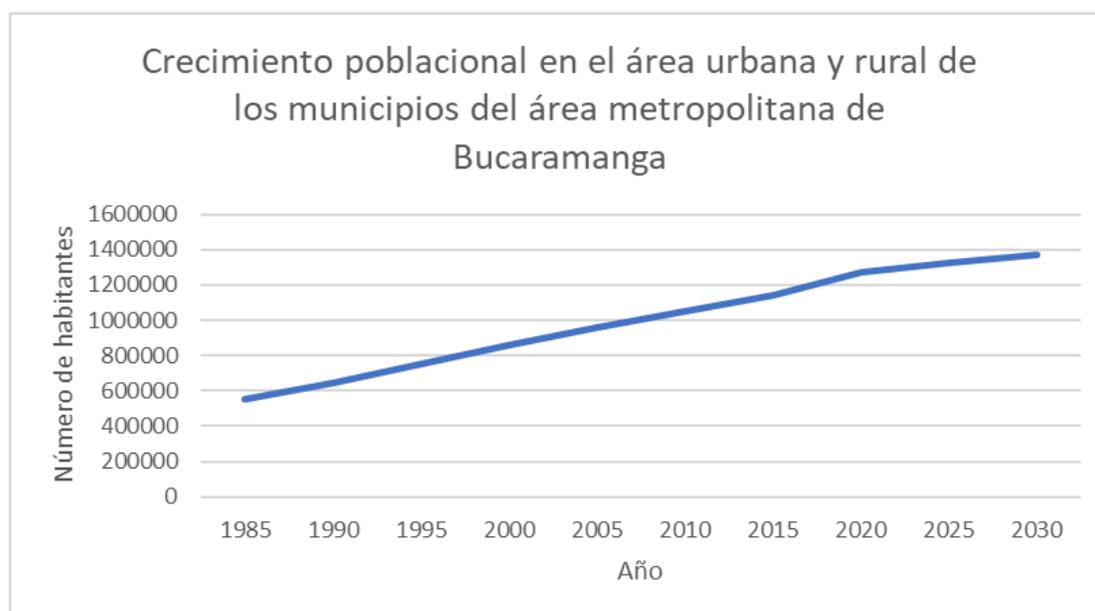
Municipio	Total habitantes 2002	Total habitantes 2020	Tasa de crecimiento po- blacional 2002-2020
-----------	--------------------------	--------------------------	--

Bucaramanga	462341	607.428	31%
Piedecuesta	110792	182.959	65%
Girón	106736	171.904	61%
Floridablanca	217851	307.896	41%
Total habitantes municipios	897720	1270187	41%

Fuente: DANE, (2021). Proyecciones y retroproyecciones de población municipal. Periodo 1985-2017. 2018-2035.

Este crecimiento se ve reflejado en la diversificación y aumento de actividades productivas desarrolladas en el área y aunado a esto, el aumento en la presión sobre los recursos naturales, aumento de uso de combustibles, demanda de productos y servicios, entre otros. A continuación, se presenta el comportamiento de la población total en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga desde el año 1985 (Datos DANE). En esta, el mayor aumento se presenta para la población urbana.

Figura 4. Crecimiento poblacional de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga



Fuente: Autor a partir de datos del DANE, (2021). Proyecciones y retroproyecciones de población municipal. Periodo 1985-2017. 2018-2035.

Respecto a las tasas de natalidad y mortalidad del área metropolitana, según datos del Informe de Calidad de Vida (Bucaramanga Metropolitana Cómo Vamos), en el periodo 2016-2020 la mortalidad pasó de ser 5,2 por cada 1.000 personas en 2016 a 6,5 en 2020; la natalidad fue de 14,9 por cada 1.000 personas en 2016 a 11,1 en 2020. Para el año 2020 el 20% de la población se encuentra entre 0 y 14 años, el 70% de la población hace parte de la fuerza laboral (entre 15 y 64 años), y el 10% son personas de 65 años en adelante.

De acuerdo con los resultados presentados en el inventario de emisiones realizado con año base 2021, se muestra el comportamiento de las emisiones a partir de las actividades que se desarrollan en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga. Estas actividades han

venido en aumento de la mano con el crecimiento que han presentado los municipios y así mismo la demanda de bienes y servicios de la población.

Dentro de los principales factores se encuentran junto con el crecimiento de las ciudades, el aumento de las tasas de motorización (aumento del parque automotor), incremento del número de viajes y distancias recorridas por los vehículos (aquí se encuentra el aumento del uso de vehículos particulares), y la ocupación de nuevos territorios. Adicionalmente, de da la particularidad que las personas, por ejemplo, que viven en Piedecuesta se desplazan hacia Bucaramanga para realizar sus actividades laborales y así entre los demás municipios, determinando las mayores distancias que se deben recorrer.

Respecto al uso del suelo, Bucaramanga Metropolitana Como Vamos, indica en su informe de calidad de vida, que desde el año 2016 se mantiene una tendencia creciente de viviendas, especialmente el municipio de Girón con un 4,5% de aumento, seguido de Piedecuesta con un 4,3%, Floridablanca con 3,8% y Bucaramanga del 3,4%.

4.1.2. DESIGUALDAD

Este fenómeno está relacionado con la diferencia que existe entre la distribución de bienes, ingresos y riqueza para distintos grupos sociales en una misma zona geográfica; y puede crear condiciones que impidan la superación de la pobreza y el logro de niveles efectivos de bienestar individual y colectivo (PNUD, 2021).

Según Bucaramanga Metropolitana Cómo Vamos, En el periodo 2016-2020 cada vez se refleja mayor desigualdad en la distribución de los ingresos, agudizándose entre 2019 y 2020. Además, para este último año el AMB superó la meta nacional 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este deterioro refuerza el gran reto de reorientar la política pública para cumplir con las metas ODS en la que la generación de riqueza sea incluyente para toda la población.

Se presentó un desplazamiento de las clases sociales en el territorio, incrementando la población pobre y la disminución de la clase media. Este desplazamiento de las clases sociales pobre, media y vulnerable es el resultado del deterioro en los indicadores de pobreza que se ha mencionado con anterioridad en el periodo de análisis de este informe y que tuvo su mayor pico en el 2020.

Es por lo anterior, que en este informe se expresa que “se pone de manifiesto que la pobreza y la desigualdad deben ser temas centrales en las agendas de las administraciones municipales; en las que el enfoque de sus estrategias se sitúe más allá de programas de mitigación asistencial; por el contrario, deberán ser abordadas desde una visión estructural e integral.”

Este aspecto es muy importante dentro de la gestión de la calidad del aire, teniendo en cuenta que se ha evidenciado que las personas con ingresos bajos tienen mayor riesgo de soportar de forma desproporcionada la carga que supone la contaminación del aire exterior (OMS, 2021). Sin embargo, es importante destacar que si bien es cierto que el incremento de ingresos contribuye a una mejora en la calidad de vida de la población, también significa una mayor capacidad adquisitiva que se verá reflejada en mayor demanda de bienes y servicios por lo cual es importante que los gobiernos y autoridades locales generen herramientas que permitan generar

este tipo de crecimientos de una manera integral, propendiendo por el beneficio de la población y a su vez el del medio ambiente.

4.1.3. ACTIVIDAD ECONÓMICA

Según el Informe de Calidad de Vida que se ha venido mencionando, en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, la dinámica empresarial se concentra en el municipio de Bucaramanga, seguido de Floridablanca, Piedecuesta y Girón. Pese a que el entorno económico a nivel nacional se ha visto afectado por las restricciones implementadas para controlar el virus del COVID-19, en todos los municipios que conforman el AMB se evidencia un incremento de 21,3% en el número de empresas formales entre 2019 y 2020.

El 60% de las empresas formalizadas e inscritas en la Cámara de Comercio de Bucaramanga se focalizan en el sector comercio, seguido del sector servicios. De acuerdo con información esta entidad, en la capital del departamento solo hay 148 empresas grandes, mientras en Floridablanca se ubican 48, en Girón 22 y en Piedecuesta 8. En Piedecuesta el 97,9%, de las empresas son micro, en Floridablanca el 96,3%, Girón el 95,7% y Bucaramanga el 94,3%.

4.1.4. SALUD

Tal como se indicó previamente, la tasa de mortalidad en los municipios para el año 2020 fue de 654 por cada cien mil habitantes, la cual aumentó respecto al año inmediatamente anterior por causa de la pandemia por COVID-19. Sin embargo, para el año 2019, las principales causas fueron enfermedades isquémicas del corazón, enfermedades cerebrovasculares, diabetes mellitus y resto de las enfermedades (que incluyen trastornos de la glándula tiroides, trastornos de la regulación de la glucosa, obesidad, trastornos metabólicos, enfermedades del ojo, entre otras). Finalmente, la quinta causa fue enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores. (Bucaramanga Metropolitana Cómo Vamos, 2021). Evidentemente para el año 2020, las enfermedades infecciosas y parasitarias ocuparon el primer lugar para causante de defunciones.

4.1.5. TRANSPORTE

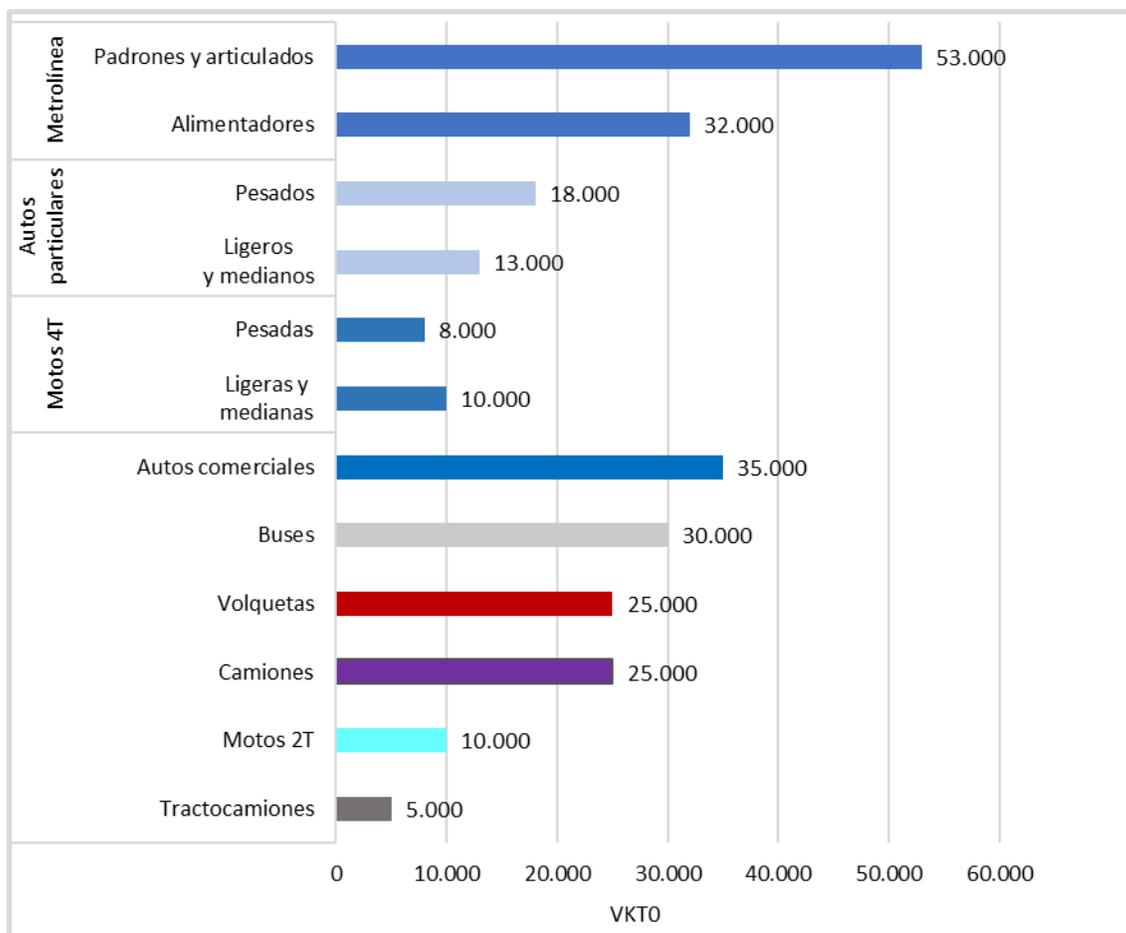
El análisis del parque automotor registrado en las secretarías de movilidad de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta mostró que el 63% del parque automotor que circula en la región metropolitana corresponde a motocicletas 4T, el 30% a autos particulares, las demás categorías representan menos del 10 % del parque automotor, correspondiendo el 3% a autos comerciales(taxis y servicio especial), el 2 % a motocicletas 2T y el 5% restante a camiones, buses, buses de servicio especial, tractocamiones, Metrolínea y volquetas. El incremento del parque automotor respecto al año base 2016 se ha dado principalmente en las motos y los vehículos particulares. Actualmente el parque automotor está conformado por 779.878 vehículos.

Estos resultados muestran que el área metropolitana de Bucaramanga no es ajena al grave fenómeno de motorización por motocicletas que se presenta en el país, según el diario el tiempo en el año 2022 el municipio de Girón es el cuarto municipio de Colombia con más Motocicletas matriculadas ya que la relación en el área metropolitana de Bucaramanga es de 408 motocicletas/1000 hab. Este fenómeno tiene asociados una alta accidentalidad y mortalidad, congestión y contaminación por los precarios sistemas de control de emisiones que tienen este tipo de vehículos. (El Tiempo, 2022).

En cuanto al transporte público de pasajeros, este está conformado por el Transporte Público Colectivo (TPC) y el Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea. Según Datos Abiertos Colombia, el TPC funciona con 53 rutas y está conformado por 11 empresas prestadoras del servicio. Por su parte, y según información pública de Metrolínea (2021), el SITM opera en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta donde cuenta con 11 rutas alimentadoras¹, 7 rutas pretroncales y 2 rutas troncales. Actualmente, y por la dinámica presentada en este servicio, se inició un trabajo en complementariedad rutas del TPC, que trasladan a las personas desde diferentes puntos hasta las estaciones del SITM Metrolínea.

Un factor importante a tener en cuenta en el transporte y las emisiones que esta actividad representa, son las distancias anuales recorridas por cada tipo de vehículo. A continuación, se presentan los promedios que se recorren en el primer año del vehículo.

Figura 5 Distancia anual recorrida en el primer año del vehículo (VKT₀)



Fuente: Inventario de fuentes móviles, 2021. Elaboración propia.

Según lo presentado previamente, los vehículos que recorren una mayor distancia en promedio anualmente son los padrones y articulados pertenecientes al SITM, seguidos de los autos comerciales y posteriormente los alimentadores del mismo sistema mencionado. Los tractocamiones por el contrario presentan el menor kilometraje recorrido por año en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga.

Dicha tendencia de aumento del parque automotor se constituye como un reto en la consolidación de una movilidad sostenible. Por tal motivo, prima la necesidad de que los habitantes del Área Metropolitana de Bucaramanga reduzcan su dependencia del transporte motorizado privado y lo reemplacen por medios de transporte como el público y la bicicleta. De hecho, en el Plan Maestro de Movilidad del Área Metropolitana de Bucaramanga 2011-2030 se traza el objetivo de generar programas que desincentiven el uso del vehículo privado y promuevan el uso de medios más eficientes; además del uso de vehículos con tecnologías más amigables con el medio ambiente. (Bucaramanga Metropolitana Cómo Vamos, 2021).

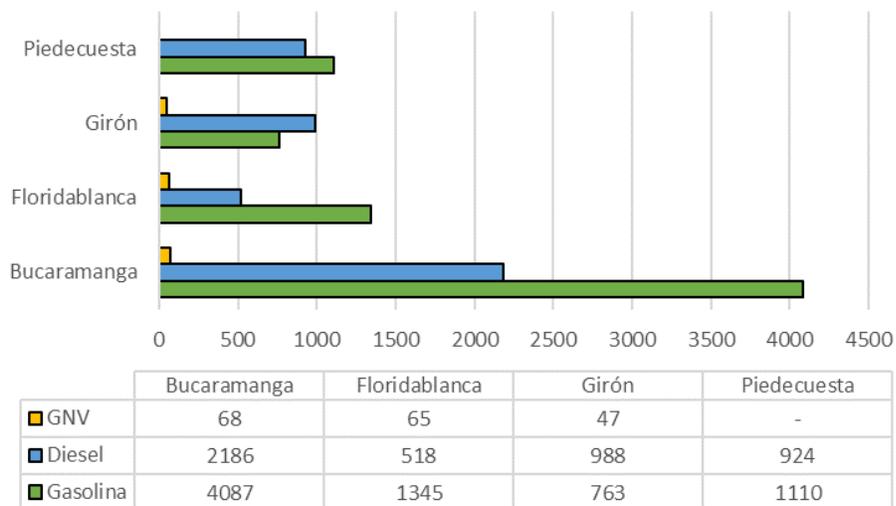
De igual forma, se debe destacar que, aunque se han realizado esfuerzos por parte del gobierno nacional y los gobiernos regionales y locales, en términos de tecnologías y combustibles, se presenta un atraso que aun representa una alta importancia dentro de las emisiones que se generan en el territorio, especialmente en términos de fuentes móviles.

4.1.6. DEMANDA ENERGÉTICA DE LOS MUNICIPIOS

- **Combustibles de uso vehicular**

La demanda de gasolina y diésel en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta se da basados en los datos proporcionados por la Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME.

A continuación, se presenta la demanda de gasolina, diésel y gas natural vehicular para los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, donde se refleja que el mayor consumo se da respecto a la gasolina. El municipio de Bucaramanga es donde mayor demanda se presenta.

Figura 6 Demanda de gasolina, diésel y GNV en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga

Fuente: Autor, *Inventario de fuentes móviles, 2021*. Elaboración a partir de datos proporcionados por la UPME.

- **Combustibles de uso industrial**

La demanda energética por tipo de combustible refleja los combustibles utilizados y la proporción en la que se consumen en la producción y consumo de materiales y bienes, así como provisión de servicios, lo cual contribuye a la contaminación del aire; esta información sirve como indicador para analizar el tipo de tecnologías que se estén usando y puede dar pie para la migración tecnológica a combustibles más limpios.

En términos energéticos, dentro del alcance geográfico del inventario y del total de empresas actualizadas a la fecha, se tiene que, el gas natural es el combustible con mayor uso durante el desarrollo de las actividades industriales distribuidas en el territorio del área metropolitana de Bucaramanga toda vez que alcanza el 65% frente al uso de los otros combustibles; se estima que anualmente se están consumiendo cerca de 9'425.647 m³, para el periodo de 2021.

El segundo combustible más empleado por las empresas que hacen parte del área metropolitana de Bucaramanga es el carbón, con una participación del 19%, asociado principalmente a la actividad de producción de ladrillos y materiales de arcilla, con un consumo estimado de 31106 toneladas al año. Otros combustibles abarcan un 8%, entre los que se encuentra el Biogás, GLP (Gas Licuado de Petróleo), Fuel Oil, Biomasa, ACPM, Gasolina, Gas Propano y Madera; estos combustibles tienen mayor demanda en procesos o actividades como procesos de incineración de residuos peligrosos, elaboración de productos alimenticios y fabricación de grasas.

4.2. EMISIONES A LA ATMOSFERA

Teniendo en cuenta aspectos como las dinámicas del transporte, el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y las actividades socioeconómicas que se llevan a cabo en la región,

se constituyen como un conjunto de fuentes de generación de emisiones contaminantes las cuales condicionan la calidad del aire.

Para estimar la magnitud de la presión que se ejerce sobre este recurso, se llevan a cabo los inventarios de emisiones que actúan como una herramienta que permite identificar las principales fuentes de emisión, las cantidades de emisiones de contaminantes y adicionalmente, las zonas con mayor representación de estas emisiones.

Este tipo de instrumentos son muy importantes en la gestión de la calidad del aire, partiendo de que “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”. (PNUMA, 2016).

A continuación, se presentan los resultados que se han generado a través del tiempo acerca de las emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga. De igual forma, se presenta un resumen del inventario realizado con año base 2021. Esta información permite evaluar la situación actual y tendencias de las emisiones a la atmósfera, donde se identifican las prioridades de atención de acuerdo con los efectos adversos que los contaminantes representan para la población.

4.2.1. ANTECEDENTES EN INVENTARIOS DE FUENTES FIJAS Y MÓVILES

En el año 2017 se realizó el primer inventario de las emisiones atmosféricas generadas en el Área Metropolitana De Bucaramanga tomando como año base el 2016. El propósito del inventario fue caracterizar y cuantificar las emisiones de los contaminantes atmosféricos provenientes de las fuentes fijas y móviles, como herramienta esencial para la definición de los planes de reducción de la contaminación.

De este inventario se logró identificar que:

Más del 90% de las emisiones de VOC, PM2.5 y CO son aportadas por fuentes móviles.

Más del 60% de las emisiones generadas por NOx provienen de fuentes móviles.

Las fuentes industriales y fuentes móviles aportan de manera significativa en la generación de emisiones de SOX en un 53,7% y 46,3% respectivamente.

El 100% de las emisiones de PM10 y MP y Mas del 70% de las emisiones de CO2 son aportadas por el sector industrial.

Tabla 5 Emisiones totales año base 2016

Contaminantes	Emisiones totales año Base 2016				Total Emisiones ton/año
	Fuentes Fijas Industriales		Fuentes Móviles		
	Emisiones (ton/año)	% de Aporte	Emisiones (ton/año)	% de Aporte	
VOC	120,7	5,6	2.017	94,4	2.137,7
SOx	119,4	53,7	103	46,3	222,4
NOx	2.018,4	33,8	3.958	66,2	5.976,4

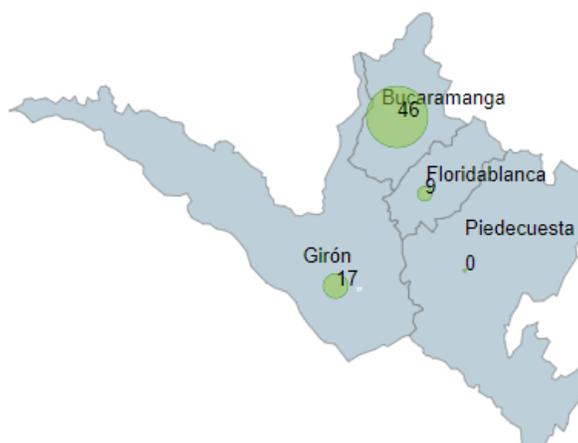
PM_{2.5}	0,2	0,1	317	99,9	317,2
PM₁₀	38,7	100,0	-	0,0	38,7
MP	70,2	100,0	-	0,0	70,2
CO	1.713,3	4,9	33.051	95,1	34.764,3
CO₂	2.336.827,0	72,7	878.150	27,3	3.214.977,0

Fuente: Inventario emisiones atmosféricas – año base 2016

La estimación de emisiones de fuentes fijas en el estudio se basó en el uso de factores de emisión, los cuales son valores representativos de la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera por una fuente específica en función del nivel de actividad.

En la caracterización se identificaron 72 empresas y 85 fuentes puntuales de emisión teniendo en cuenta que algunas de las empresas tienen más de una fuente, donde según los datos recopilados del 2016, el 64% se concentraba en el municipio de Bucaramanga, el 27% en Girón y 9,4% en Floridablanca, tal como se aprecia en la Figura 7.

Figura 7 Distribución de establecimientos en el Área Metropolitana de Bucaramanga



Fuente: Inventario emisiones atmosféricas – año base 2016

Los establecimientos industriales se caracterizaron teniendo en cuenta aquellos que, por disponer de ductos o chimeneas, generan emisiones de contaminantes por sus procesos de generación de energía, quemadores, secadores, entre otros. De acuerdo con el inventario (año base 2016), más del 90% de las emisiones provienen del sector BAT (bebidas, alimentos y tabaco) que corresponde a las actividades relacionadas con el beneficio de aves, producción de alimentos para animales y tratamiento de residuos.

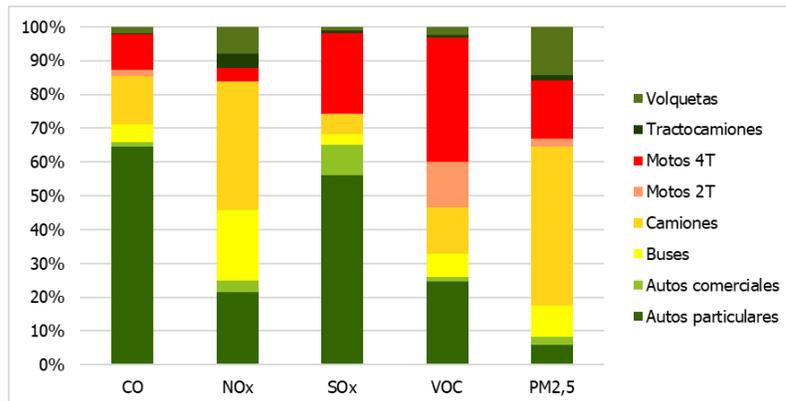
Teniendo en cuenta el análisis de combustible de las fuentes fijas, se identificó que, aquellas que utilizan como combustible carbón, generan el 100% de SO_x, el 99,76% de emisiones de PM₁₀, el 89,91% de material particulado y el 66,91% de PM_{2.5}. Por otra parte, las fuentes que operan con gas natural son las principales aportantes de las emisiones de VOC con el 85,92%, el 90,96% de NO_x y el 96,02% de CO.

Además, los equipos que más representatividad se tiene de emisiones son las calderas que emiten la mayor cantidad de contaminantes y que usan especialmente carbón; solo los hornos que también usan este combustible aportan una mayor cantidad de PM_{2.5}. EL gas natural por su parte usado tanto en hornos como calderas emite especialmente los VOC, NO_x y CO.

En la estimación de fuentes móviles, se identificó que, contribuye de manera significativa las emisiones de Material Particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) y Monóxido de Carbono (CO).

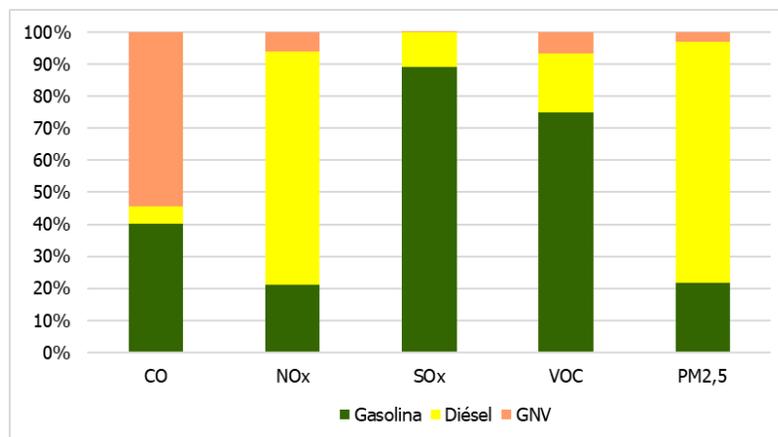
Los resultados muestran que los autos particulares hacen una importante contribución a las emisiones de CO y SO_x, aportando respectivamente el 65% y el 56% de estos contaminantes, y un poco más del 20% de las emisiones de NO_x y VOC. También se pudo identificar que, los camiones como una categoría representativa en el aporte de emisiones de PM_{2.5} y NO_x, aporta el 47% y el 38% de dichos contaminantes.

Figura 8 Resultados inventario de emisiones para fuentes móviles, año base 2016



Fuente: Inventario emisiones atmosféricas – año base 2016

Teniendo en cuenta el análisis de las emisiones por tipo de combustible, se identificó que, la gasolina es responsable del 40% de las emisiones de CO, del 89% de las emisiones de SO_x y del 75% de las emisiones de VOC. Además, como se aprecia en la figura, el diésel contribuye con el 73% de las emisiones de NO_x y el 75% de las emisiones de PM_{2.5}, y en cuanto al gas natural vehicular (GNV) este aporta el 54% de las emisiones de CO.

Figura 9 Resultados inventario de emisiones para fuentes móviles según el combustible, año base 2016

Fuente: Inventario emisiones atmosféricas – año base 2016

Cabe aclarar que este inventario se realizó teniendo en cuenta el área urbana de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

4.2.2. INVENTARIO DE FUENTES DE EMISIÓN AÑO BASE 2021

Para la generación del presente documento, se tuvo en cuenta tanto el área urbana como el área rural de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. La cobertura geográfica se dividió en una malla de 27 x 33 celdas, cada celda equivale a 1km.

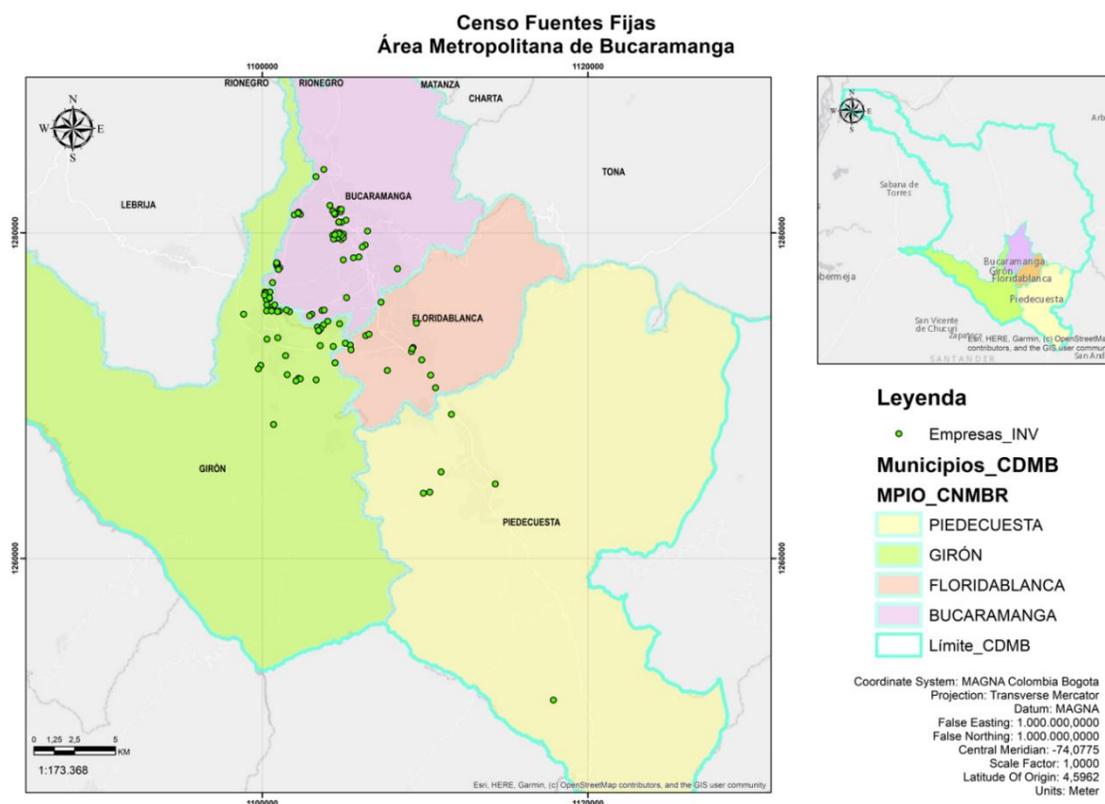
A continuación, se presentan los resultados del inventario de emisiones realizado tomando el 2021 como año base para la caracterización de la zona. Los esfuerzos de este inventario estuvieron dirigidos a la identificación y actualización de fuentes fijas, fuentes móviles y fuentes de área.

Este inventario se realiza con el propósito de conocer la distribución y estado de los procesos realizados y comportamiento de las diferentes fuentes de emisiones encontradas en los municipios de interés, constituyendo una herramienta esencial en la definición de los planes de reducción de la contaminación, siendo soporte en la toma de decisiones frente a medidas para mejorar la calidad del aire. De igual forma, el inventario de emisiones es una herramienta importante en la identificación de las zonas con mayor aporte de emisiones e impacto en la calidad del aire.

- **FUENTES FIJAS**

Con el fin de conocer el aporte de los contaminantes de cada sector productivo en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, se realizó el censo de las empresas asociadas a fuentes fijas, mediante la revisión de expedientes que reposan en la CDMB, y reconocimiento ocular a través de recorridos por la zona de estudio. Estos recorridos se basaron inicialmente en la revisión de información de entidades como el DANE, Cámara de Comercio, Google Maps y la RUES.

Figura 10 Fuentes fijas identificadas en el inventario



Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

El inventario de emisiones que se presenta corresponde al reporte de Fuentes Fijas Puntuales, las cuales son consideradas emisiones que se pueden asociar a puntos fijos de emisión como los son chimeneas o ductos. Por lo general las emisiones de estas fuentes se asocian a procesos de combustión y en algunos casos a los mismos procesos productivos que generan los contaminantes. Es preciso mencionar que adicionalmente se consideraron las Fuentes de Área Industrial.

La información validada permite determinar un censo de 120 empresas ubicadas en el área metropolitana de Bucaramanga, que son generadoras de emisiones por actividades y procesos asociados a Fuentes Fijas Puntuales.

Se observa que el municipio con mayor presencia de empresas corresponde a Bucaramanga, representado por un 51% del total de las fuentes identificadas, en segundo lugar, está el municipio de Girón con un 35% de las fuentes, Floridablanca se ubica en el tercer municipio con un asentamiento del 8% del total de las fuentes y finalmente el municipio de Piedecuesta, el cual cuenta con el 5%.

Tabla 6 Resumen de empresas y fuentes fijas por municipio

MUNICIPIOS	Empresas	Fuentes	Empresas (%)	Fuentes (%)
Bucaramanga	56	80	47%	51%
Girón	47	55	39%	35%

Piedecuesta	6	8	5%	5%
Floridablanca	11	13	9%	8%
Total	120	156		

Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Dentro de la misma, se considera la identificación de los sectores productivos (ver tabla), por medio de los cuales se analiza cuál de ellos representa un mayor aporte de contaminantes atmosféricos.

Tabla 7 Clasificación de las actividades productivas

CONVENCIONES TIPO DE SECTOR	
BAT	Bebidas, Alimentos y Tabaco (incluidos alimentos para animales)
CVL	Cerámicos, vítreos, ladrilleras, alfareras y tejares.
PAP	Papel, Cartón, Pulpa e Impresión.
PCE	Plásticos, Cauchos y Empaques; incluidas reencauchadoras, fabricación y procesamiento de llantas.
MMC	Metalmecánico; Fundición y manejo de metales, hierro, metales no ferrosos, producción de maquinaria eléctrica y no eléctrica.
QMC	Química; Producción de compuestos químicos, producción de jabones y detergentes, pinturas y resinas.
CUR	Cueros; curtimbres y calzado
ASF	Derivados del petróleo; Producción y procesamiento asfaltos y emulsiones asfálticas, explotación y tratamiento de triturados.
TER	Terciario; sector terciario, comercial y de servicios que por su actividad posean calderas u hornos eléctricos (hoteles, hospitales, cementerios, lavanderías y otros).
MAD	Aserriés, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera.
OTR	Otras Industrias. En este sector se agrupan las industrias que no se pueden clasificar según ninguna de las anteriores clasificaciones. Se incluye la industria generadora de energía y la minería de oro y minerales metálicos.

Adicionalmente, se requiere de la identificación de proceso productivo, investigando los equipos que se emplean durante el desarrollo de cada actividad industrial, entre los que se pueden encontrar calderas, hornos, cabinas, entre otros.

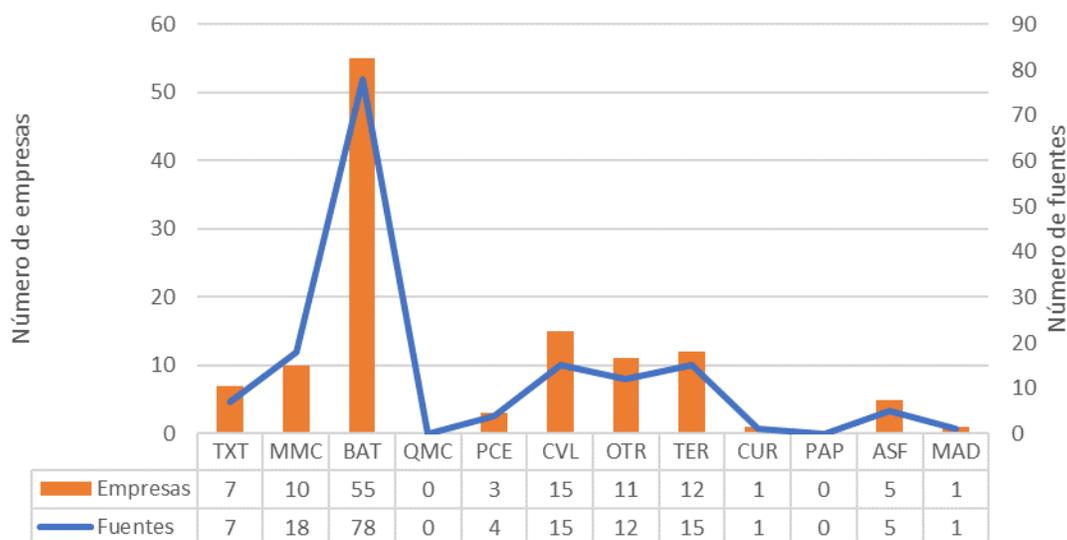
En todo el territorio del área metropolitana de Bucaramanga en jurisdicción de la CDMB, se identifica que, a partir de la información actualizada a la fecha, el principal sector cuyas operaciones de equipos o actividades asociadas a Fuentes Fijas Puntuales, es la industria dedicada a la Producción de Alimentos –BAT, la cual comprende el 50% del total de las fuentes identificadas; el sector Metalmecánico –MMC se ubica en segundo lugar, con una representación del 12%; mientras que los sectores de Cerámicos y Vítreos; ladrilleras, alfareras –CVL y Terciario –TER reflejan una participación del 10% cada uno. Los sectores de Otros Procesos –OTR, Textil –TXT y Plásticos, Cauchos y Empaques; incluidas reencauchadoras –PCE.

Tabla 8 Relación de fuentes por sector productivo

Sector	Fuentes	Empresas	Fuentes (%)	Empresas (%)
TXT	7	7	4%	6%
MMC	18	10	12%	8%
BAT	78	55	50%	46%
QMC	0	0	0%	0%
PCE	4	3	3%	3%
CVL	15	15	10%	13%
OTR	12	11	8%	9%
TER	15	12	10%	10%
CUR	1	1	1%	1%
PAP	0	0	0%	0%
ASF	5	5	3%	4%
MAD	1	1	1%	1%
Total	156	120		

Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 11 Distribución de empresas y fuentes por sector productivo



Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Para el desarrollo de las actividades productivas se observa que los equipos con mayor presencia son las CALDERAS -CAL, con una representatividad del 53%. Por otro lado, se resaltan los HORNOS -HOR, usualmente empleados en la cocción de alimentos y el secado de materiales en ladrilleras y tejares, los cuales representan el 30% del total de las Fuentes Fijas identificadas en el Territorio.

Tabla 9 Cantidad de fuentes de emisión de acuerdo al equipo utilizado

MUNICIPIO	Caldera	Horno	Cabinas	Molinos	Quemador	Otros
BUCARAMANGA	44	23	1	6	0	5
GIRON	23	19	2	5	2	3

PIEDECUESTA	5	1	0	0	0	2
FLORIDABLANCA	9	3	0	1	0	0
TOTAL	81	46	3	12	2	10

Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Emisiones por fuentes fijas industriales

Considerando la información obtenida para el 2021, las emisiones del Monóxido de Carbono (CO) corresponde al 30% sobre el total de los demás contaminantes, seguido del Material Particulado (MP), con un 22%, por su parte, contaminantes como SO_x, PM₁₀ y NO_x, están representados por un 16, 11 y 9% respectivamente. Finalmente, los contaminantes como PM_{2,5} y VOC, con valores 7% y 4%.

Tabla 10 Emisiones en toneladas de contaminantes atmosféricos

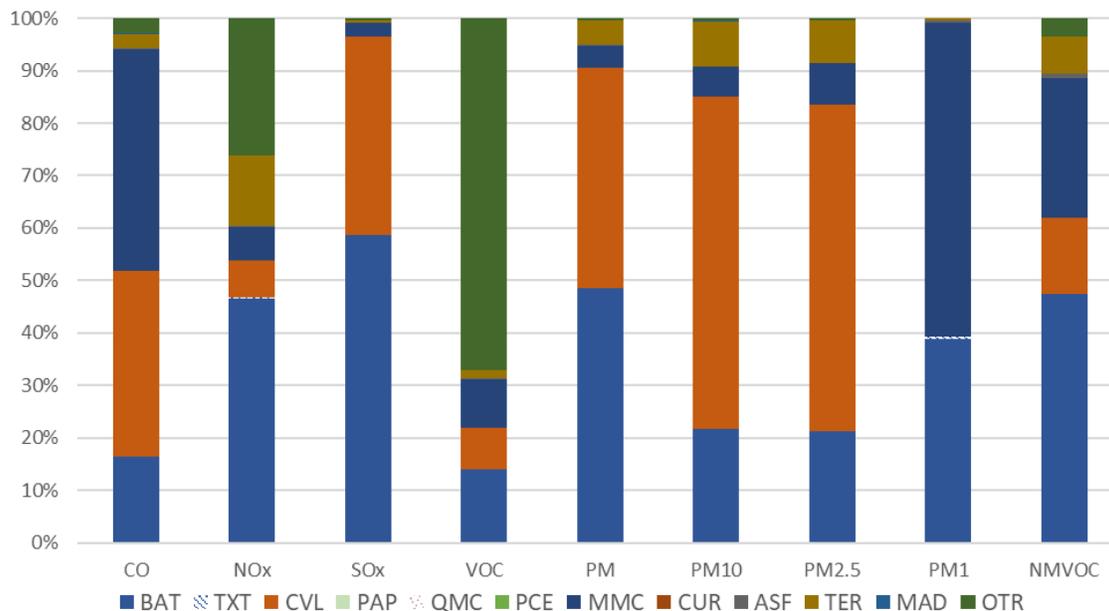
CO	NO _x	SO _x	VOC	MP	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
427,13	130,29	235,67	57,95	317,21	159,95	101,26	75346	8,015	0,65

Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Entre los sectores con mayor aporte de emisiones de los diferentes contaminantes representados son: Bebidas, Alimentos y Tabaco -BAT, Metalmecánico -MMC y Cerámicos, vítreos, así como las ladrilleras, alfareras y tejares -CVL, estas actividades realizan aportes significativos de CO, PM, NO_x, SO_x, NMVOC (Compuestos Orgánicos Volátiles distintos al metano) y VOC.

Entre los sectores identificados, Otros -OTR, que incluye el presado de icopor, el tratamiento de residuos peligrosos, el secado de concreto y la pintura de partes de vehículos, en general parecen no tener representatividad en el aporte de contaminantes como CO, SO_x, NO_x y Material Particulado, no obstante, es destacable en el aporte de Compuestos Orgánicos Volátiles -VOC, ya que realizan el aporte del 67% de este tipo de contaminante.

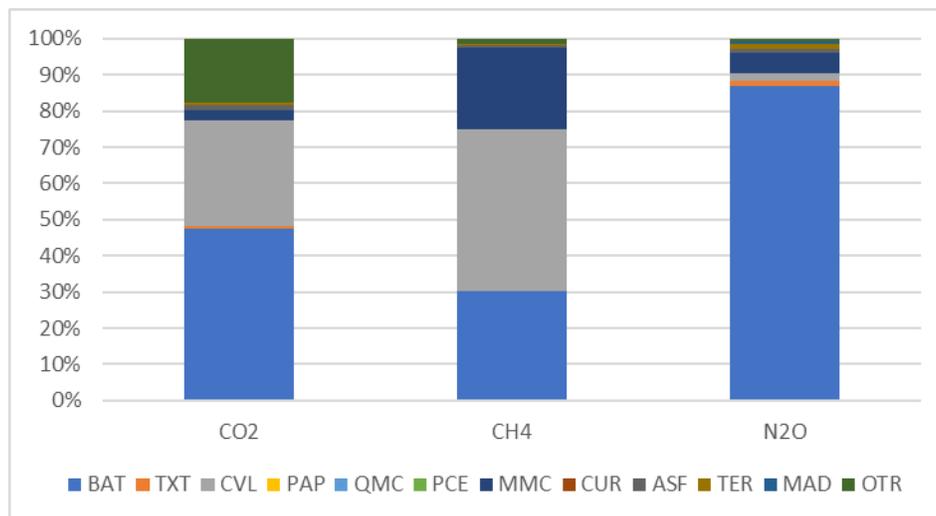
Figura 12 Distribución porcentual de las emisiones por sector industrial



Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Respecto a las emisiones de Gases Efecto Invernadero, se resaltan los procesos asociados a la producción de Alimentos -BAT, y la industria asociada a la producción de ladrillos y elementos de arcillas.

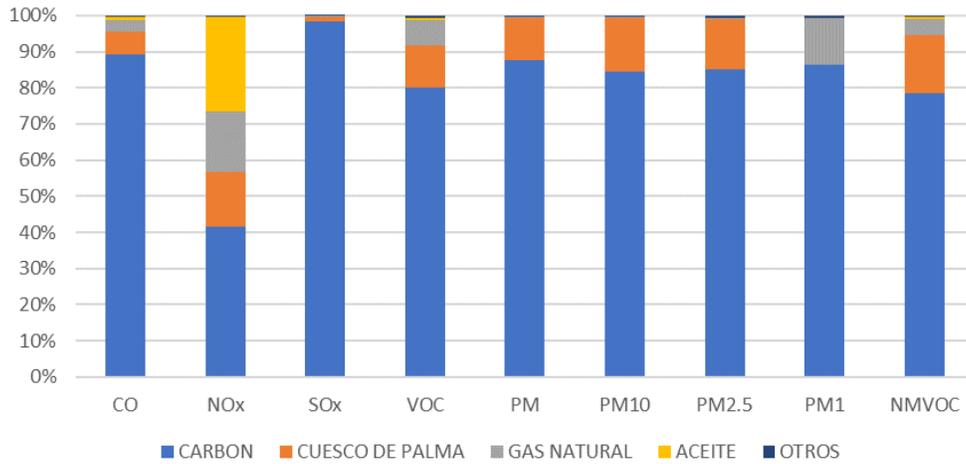
Figura 13 Distribución porcentual emisiones GEI por sector industrial



Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Adicionalmente, es importante destacar que el combustible que genera mayor parte de contaminantes corresponde al Carbón con porcentajes entre 80% y 97% para emisiones de CO, SOx, VOC, Material particulado total PM, material particulado de 10 µg e inferior PM₁₀, y de 2.5 µg e inferior PM_{2.5}.

Figura 14 Porcentaje de emisiones a nivel industrial por tipo de combustible

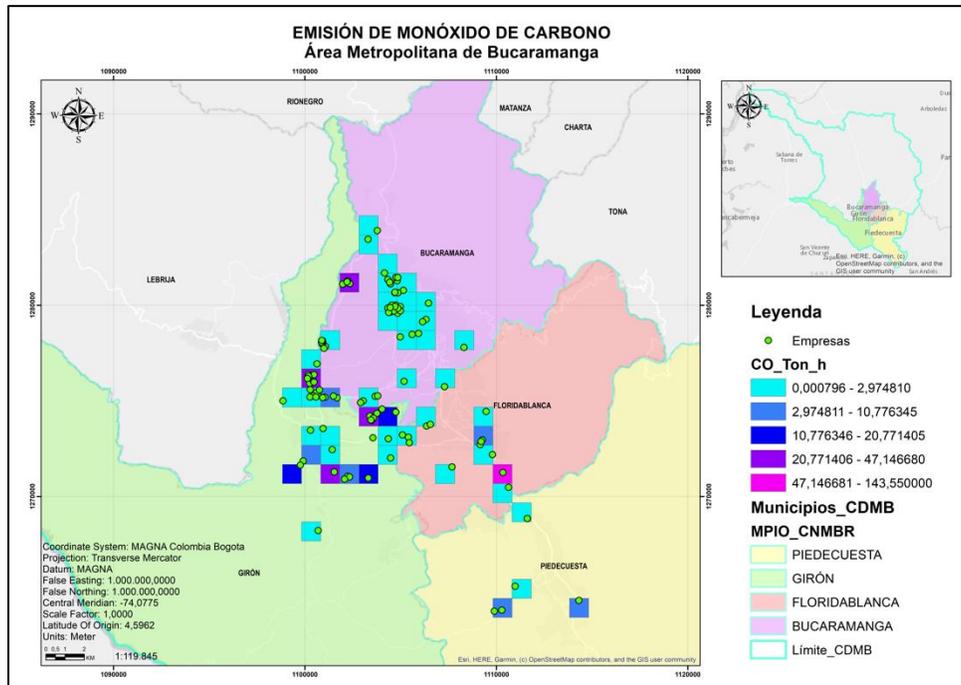


Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Distribución espacial de las emisiones

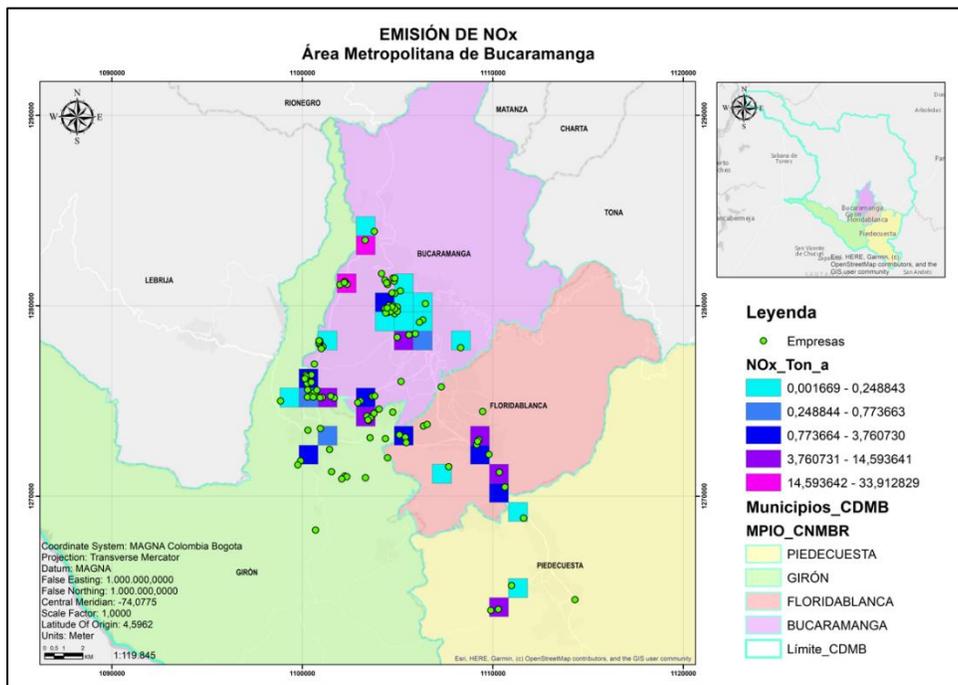
A continuación, se presentan los mapas con la distribución espacial de las emisiones de acuerdo con cada contaminante criterio.

Figura 15 Distribución espacial de concentración de CO



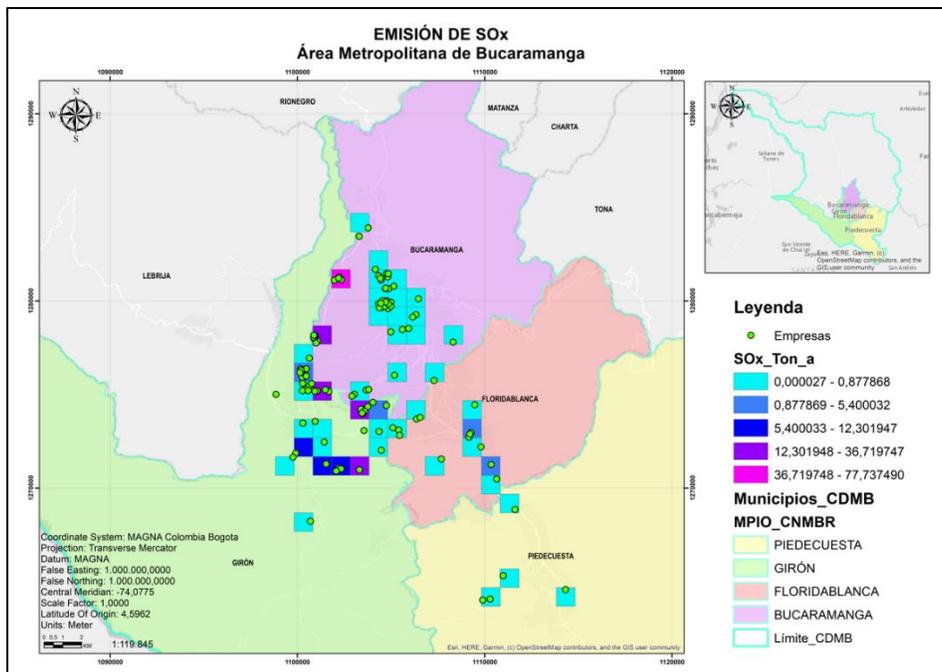
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 16 Distribución espacial concentración NOx



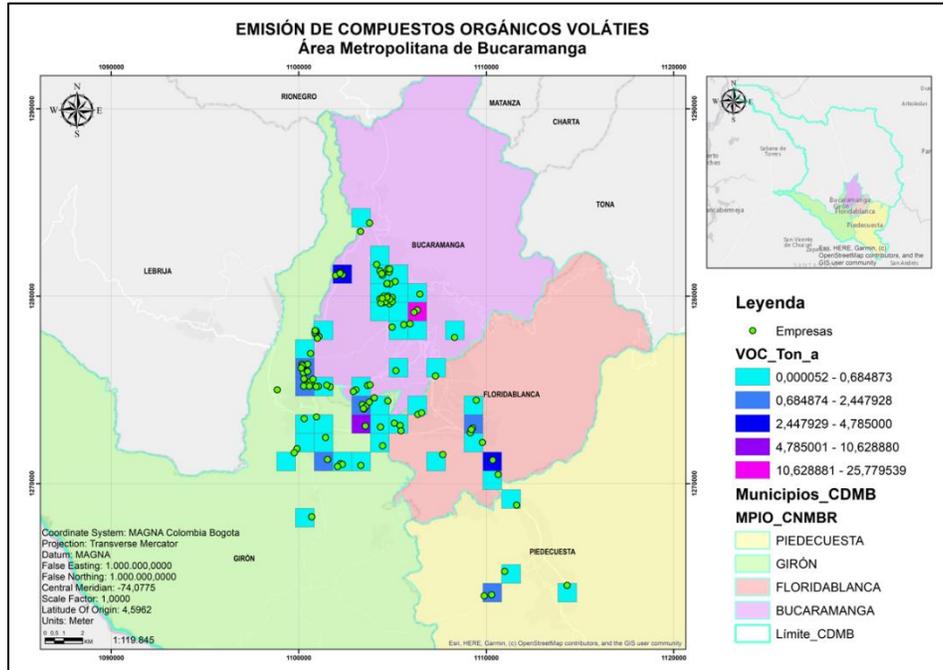
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 17 Distribución espacial concentración Sox



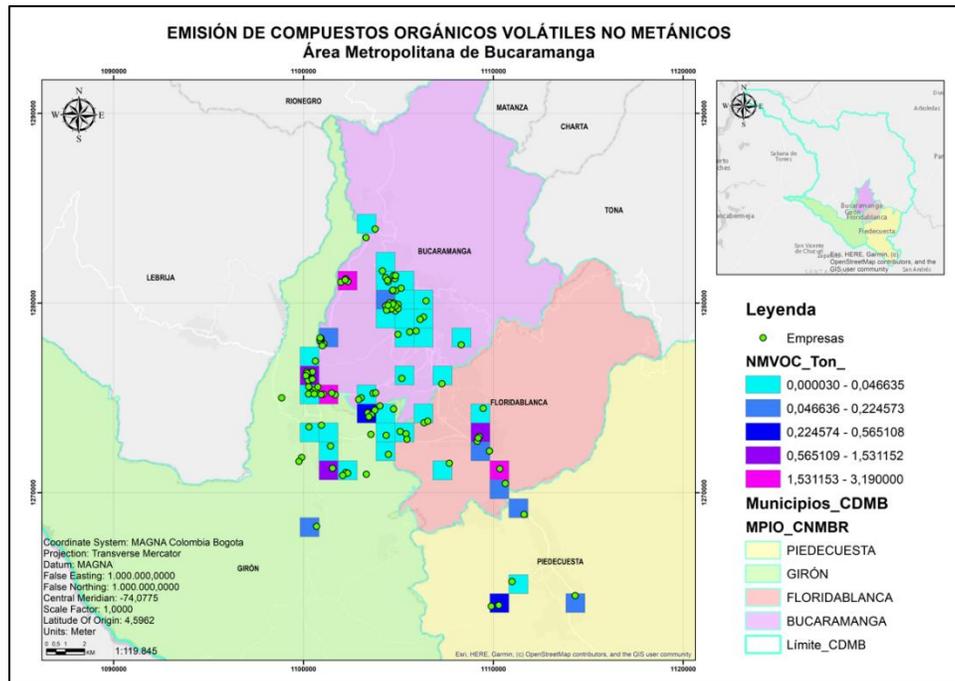
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 18 Distribución espacial concentración COV



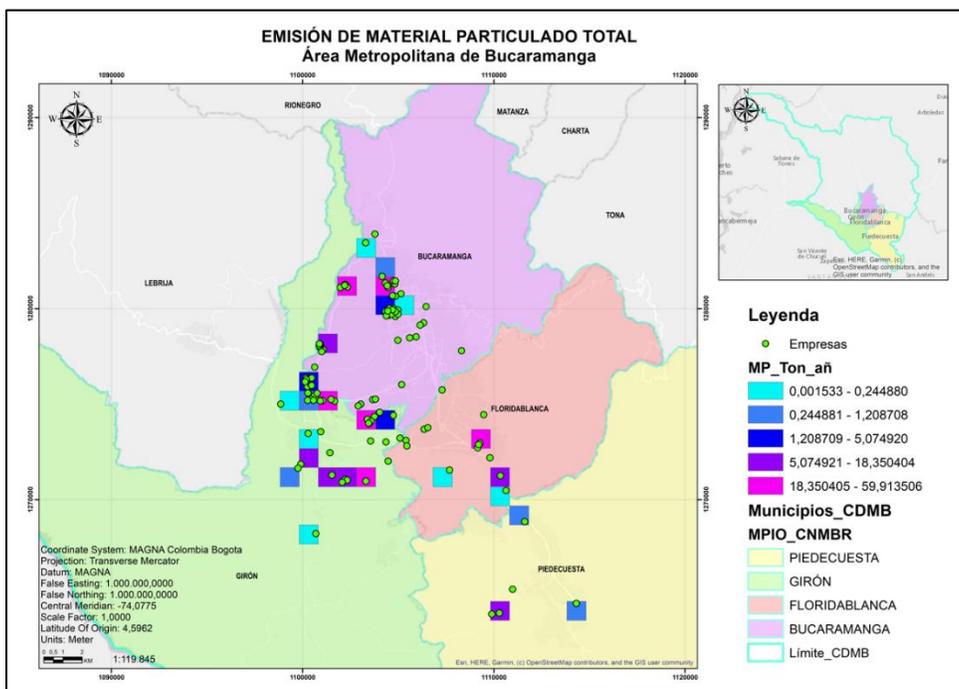
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 19 Distribución espacial concentración NMVOC



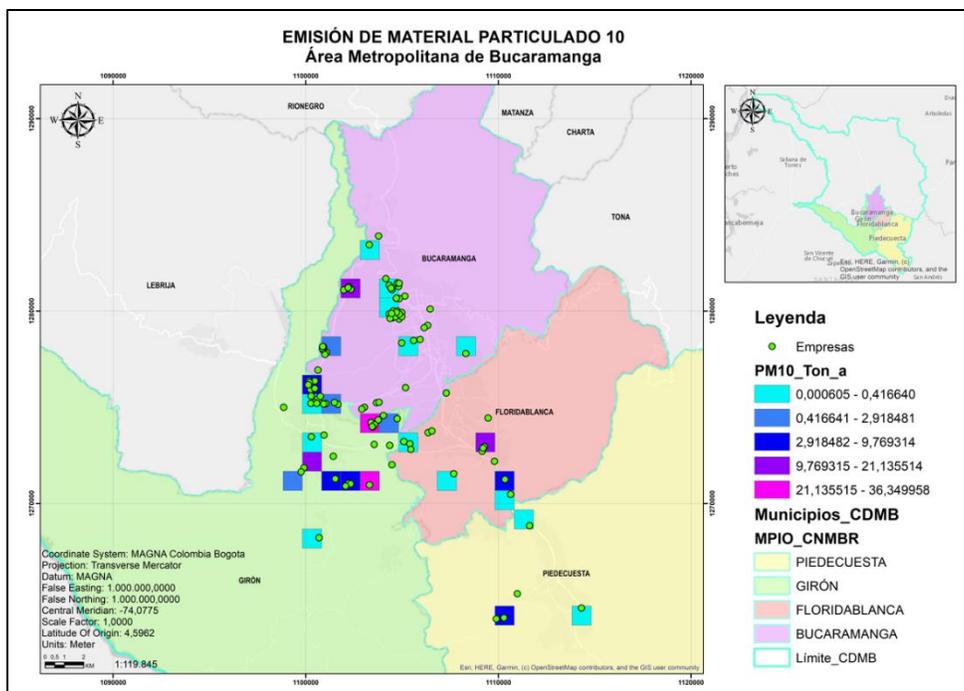
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 20 Distribución espacial concentración MP



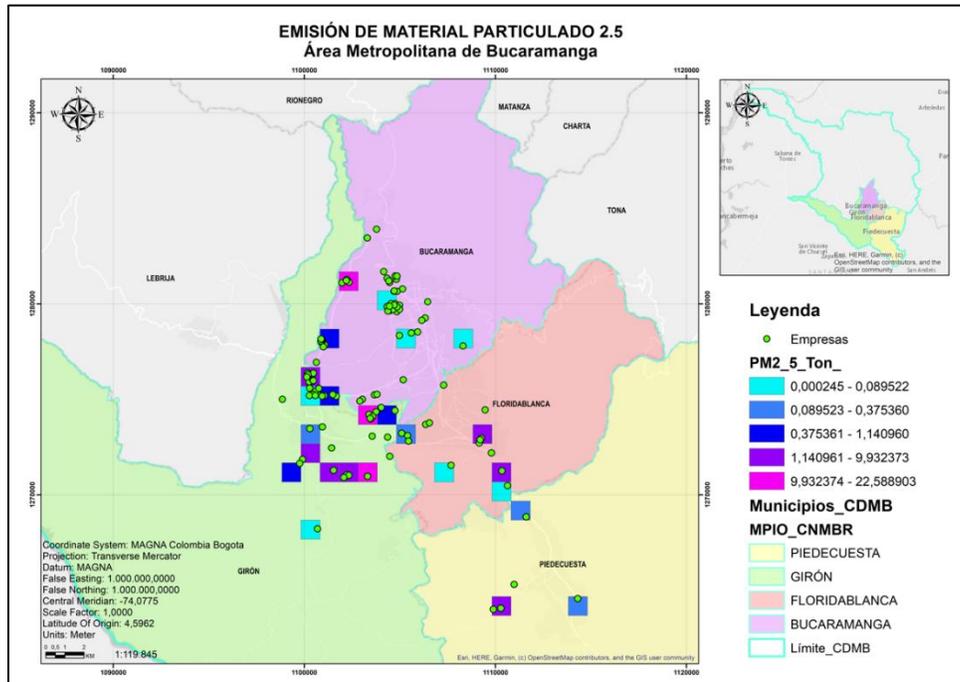
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 21 Distribución espacial concentración PM₁₀



Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 22 Distribución espacial concentración PM_{2.5}



Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

• **FUENTES MÓVILES**

El parque automotor es uno de los parámetros a considerar para mitigar la calidad de aire y disminuir los efectos negativos de esta en la salud humana ya que los vehículos contribuyen significativamente a la contaminación atmosférica.

Se realizó la identificación de corredores que registran congestión vehicular en base a información secundaria provista por la aplicación Waze, a través del semáforo de corredores que ofrece la aplicación de escritorio en la dirección: <https://www.waze.com/es/live-map>, de manera específica, los corredores que presentaban color rojo oscuro; el cual corresponde al tránsito casi detenido.

Seguidamente, se elaboró un video por día de la semana a partir de las capturas de waze, para cada uno de los sectores; con el fin de contrastar la información filtrada de las tabulaciones, con las capturas de pantalla; de esta manera se hace un tamizaje final, sobre todo de estos corredores en los que se presentaron accidentes u obras de reparación de redes de servicio, identificadas con banderas por parte de la aplicación; y así mismo se definieron las franjas horarias entre las cuales se identificó conveniente realizar los conteos vehiculares.

De igual forma, se realizaron los registros fílmicos sobre los corredores, en las intersecciones de mayor importancia desde el punto de vista de la congestión, fundamentalmente justificado en el volumen de acceso o salida, desde y hacia el corredor principal, a partir de la observación en campo y corroborado en la longitud de cola identificadas en las capturas de waze.

Teniendo en cuenta que el objeto del estudio es el inventario de fuentes móviles, la clasificación del aforo por tipo de vehículo se realizó según la potencia de la unidad motora y el tipo de combustible usado, así:

- Autos
- Autos de servicio especial
- Taxi
- Buses
- Buses de servicio especial
- Camiones
- Motos 2T
- Motos 4T
- Metrolínea
- Tractocamiones
- Volquetas.

La información sobre el número de vehículos existentes (stock) para el año 2021 en el área metropolitana de Bucaramanga, se obtuvo a través de las secretarías de movilidad de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, a las cuales se solicitó el parque automotor registrado en bases de datos con los siguientes campos: clase de vehículo (automóvil, bus, camión, etc.), servicio (particular, público, oficial y diplomático), modelo (año-modelo del vehículo), cilindraje (valor relativo al tamaño del motor), combustible (gasolina, diésel, GNV, gas-gasolina) y estado (activo, inactivo, robado, etc.).

La distribución de vehículos registrados por municipio indica que el 47% está registrado en Girón, el 29% en Bucaramanga, el 22% en Floridablanca y el 2% en Piedecuesta.

Tabla 11 Distribución de vehículos por municipio.

Municipio	Número de vehículos	Porcentaje
Bucaramanga	233.260	29%
Floridablanca	174.572	22%
Girón	377.477	47%
Piedecuesta	19.601	2%
Total	779.878	100%

Fuente: Autor.

En cuanto se recolectaron las bases de datos, la información fue depurada y clasificada de acuerdo con las categorías definidas en el modelo LEAP.

Tabla 12 Clasificación de los vehículos

Categoría LEAP	Clase	Servicio	Tamaño
Autos particulares	Automóvil, camioneta, campero	Particular	Ligeros (≤ 1500 cc) Medianos ($1500 < \text{cc} < 3000$)

			Pesados (cc ≥ 3000)
Autos de servicio especial	Automóvil, camioneta, campero	Oficial, diplomático	Ligeros (≤ 1500 cc) Medianos (1500 < cc < 3000) Pesados (cc ≥ 3000)
Buses	Bus, buseta, microbús	Público	Ligeros (≤ 3000 cc) Medianos (3000 < cc < 6000) Pesados (cc ≥ 6000)
Buses de servicio especial	Bus, buseta, microbús	Particular, oficial, diplomático	Ligeros (≤ 3000 cc) Medianos (3000 < cc < 6000) Pesados (cc ≥ 6000)
Camiones	Camión	Particular, público, oficial, diplomático	Ligeros (≤ 3000 cc) Medianos (3000 < cc < 6000) Pesados (cc ≥ 6000)
Metrolínea	Bus	Público	Medianos (3000 < cc < 6000) Pesados (cc ≥ 6000)
Motocicletas	Motocicleta, motocarro, cuatrimoto, motociclo	Particular, público, oficial, diplomático	Ligeros (≤ 150 cc) Medianos (150 < cc < 300) Pesados (cc ≥ 300)
Taxis	Automóvil, camioneta, campero	Público	Ligeros (≤ 1500 cc) Medianos (1500 < cc < 3000) Pesados (cc ≥ 3000)
Tractocamiones	Tractocamión	Particular, público, oficial, diplomático	Pesados (cc ≥ 6000)
Volquetas	Volqueta	Particular, público, oficial, diplomático	Medianos (3000 < cc < 6000) Pesados (cc ≥ 6000)

El análisis del parque automotor registrado en las secretarías de movilidad de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta mostró que el 63% del parque automotor que circula en la región metropolitana corresponde a motocicletas 4T, el 30% a autos particulares, las demás categorías representan menos del 10 % del parque automotor, correspondiendo el 3% a autos comerciales (taxis y servicio especial), el 2 % a motocicletas 2T y el 5% restante a camiones, buses, buses de servicio especial, tractocamiones, Metrolínea y volquetas.

Tabla 13 Parque automotor por categorías

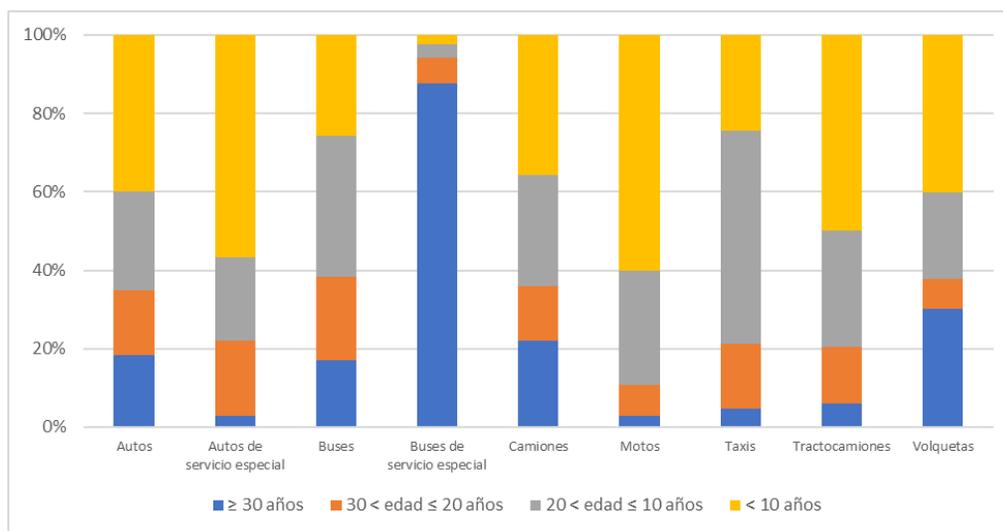
Categoría/Tamaño	Cantidad
Autos	234.063
Autos de servicio especial	9.770
Buses	6.853
Buses de servicio especial	3.376
Camiones	17.045
Metrolínea	102
Motos 2T	14.820
Motos 4T	474.787
Taxis	10.321
Tractocamiones	5.601

Volquetas	3.140
Total	779.878

Fuente: Autor a partir de información de las Secretarías de Tránsito de los municipios.

Por otra parte, el análisis de la edad del parque automotor mostró que el 70% de la flota vehicular tienen menos de 10 años de antigüedad, y aproximadamente el 10% tiene más de 20 años de antigüedad. Además, se resalta el transporte de carga, debido a que el 20% de los camiones y más 30% de las volquetas tienen más de 30 años de antigüedad.

Figura 23 Edad del parque automotor



Fuente: Autor.

Emisiones por fuentes móviles

Para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes móviles generadas por el parque automotor circulante en el área metropolitana de Bucaramanga, se usa el modelo LEAP, Sistema de Planteamiento de Alternativas Energéticas a Largo Plazo (Long-range Energy Alternatives Planning System), el cual es un modelo de simulación de 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.

En cuanto a los factores de emisión usados por el modelo LEAP para la estimación de emisiones de fuentes móviles en el área metropolitana de Bucaramanga se usan los desarrollados por el International Vehicle Emissions (IVE), el cual posee factores de emisión para aproximadamente 450 tecnologías vehiculares clasificadas de acuerdo al tipo de vehículo (p. ej. auto, bus/camión, motores pequeños), tipo de combustible (p. ej. gasolina, diésel, gas natural), peso (liviano, mediano, pesado), tipo de dispositivo para la mezcla aire/combustible (p. ej. carburador, inyección directa, inyección de combustible multipunto), control de emisiones por el tubo de

escape (p. ej. catalizador, 3-vías/EGR–exhaust gas recirculation, Euro II) y tipo de control de las emisiones evaporativas (PCV, positive crankcase ventilation).

Los resultados muestran que los autos particulares hacen una importante contribución a las emisiones de CO, aportando el 40% y de este contaminante, y un poco más del 20% de las emisiones de SO_x y VOC. Así, aunque aportan cerca del 6% del PM_{2.5} primario, deben hacer una contribución importante al PM_{2.5} secundario, el cual tiene como precursores a los SO_x, NO_x y VOC. También se puede identificar a las motocicletas como una categoría representativa en el aporte de emisiones de PM_{2.5}, pues aporta cerca del 60% del contaminante.

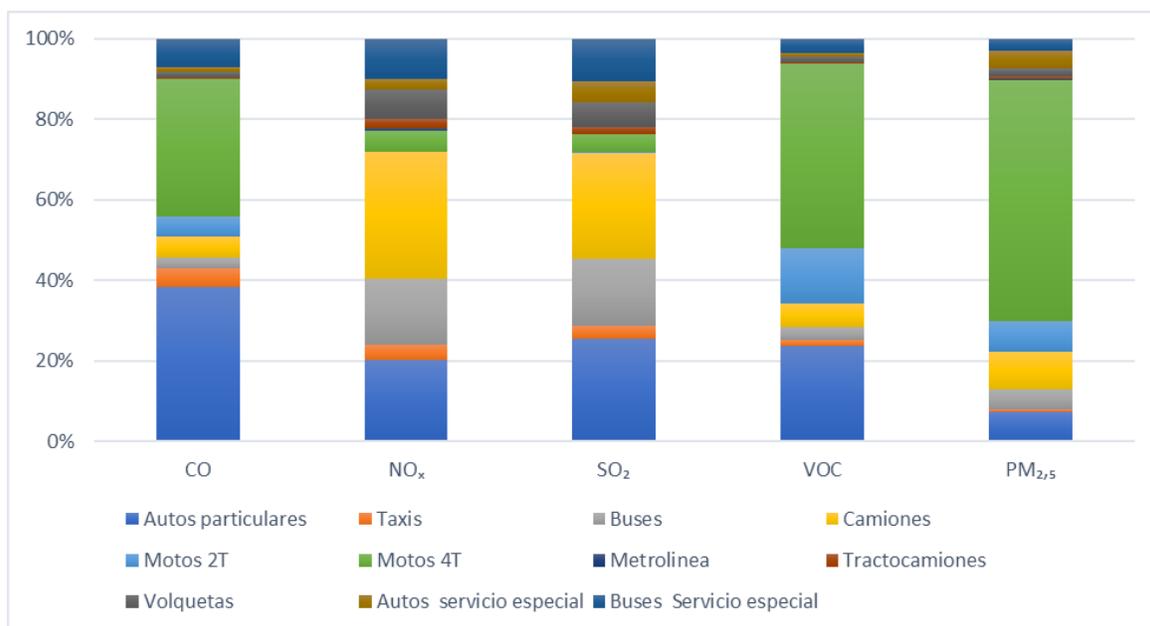
Es importante resaltar el aporte de las emisiones de NO_x y SO_x de las volquetas, pues estos vehículos representan tan solo el 0,4% del parque automotor, generando grandes contribuciones de contaminantes con un parque automotor pequeño.

Tabla 14 Emisiones de contaminantes por categoría vehicular

Categoría Vehicular	CO	NO_x	SO_x	VOC	PM_{2.5}
Autos particulares	16.506	1.906	367	1.729	26
Taxis	2.016	342	47	107	2
Buses	1.128	1.524	237	215	18
Camiones	2.381	2.969	378	423	33
Motos 2T	2.098	4	3	996	27
Motos 4T	14.744	491	63	3.320	212
Metrolínea	17	53	0	5	1
Tractocamiones	141	216	27	25	2
Volquetas	542	695	86	98	7
Autos servicio especial	581	246	75	76	16
Buses Servicio especial	3.004	918	151	249	10
Total	43.158	9.364	1.435	7.244	353

Fuente: Autor.

Figura 24 Distribución de emisiones por categoría vehículo



Fuente: Autor.

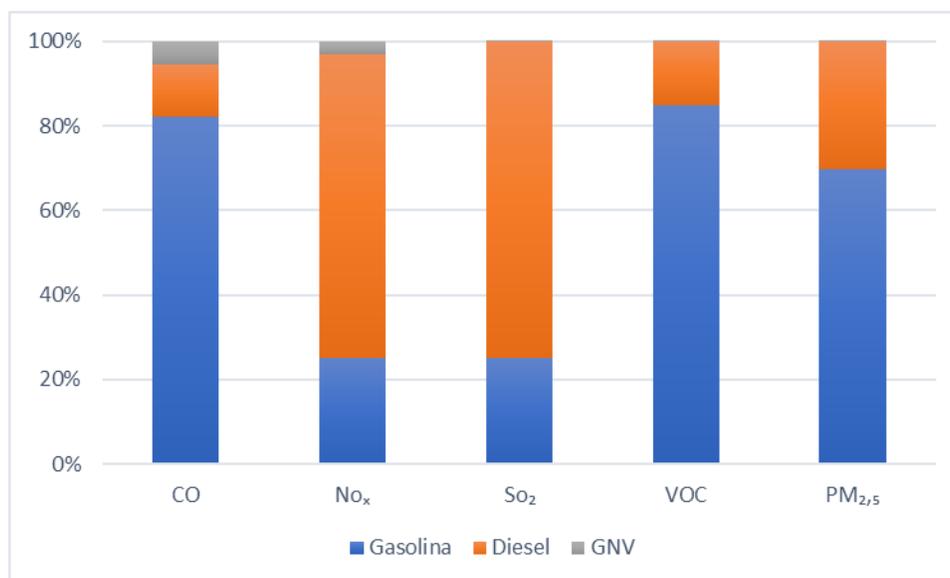
Al analizar las emisiones de contaminantes criterio por tipo de combustible, puede verse que la gasolina es responsable del 80% de las emisiones de CO, del 25% de las emisiones de SO_x y del 85% de las emisiones de VOC. Por su parte, el diésel contribuye con el 73% de las emisiones de NO_x y el 35% de las emisiones de PM_{2.5}, y en cuanto al gas natural vehicular este aporta el 10% de las emisiones de CO, mientras las emisiones de los restantes contaminantes originadas por el GNV son poco significativas.

Tabla 15 Emisiones de contaminantes por tipo de combustible

Combustible	ton/año				
	CO	NO _x	SO _x	VOC	PM _{2,5}
Gasolina	32.185	2.141	328	5.576	224
Diésel	4.851	6.089	974	988	96
GNV	2.117	265	0	8	1
Total	39.152	8.495	1.302	6.572	321

Fuente: Autor.

Figura 25 Distribución de emisiones por tipo de combustible



Fuente: Autor.

También es posible observar que tanto la gasolina como el diésel son fuentes importantes de las emisiones de PM_{2.5}, pues mientras el diésel aporta el 35% de las emisiones de PM_{2.5} primario, la gasolina es la principal aportante de contaminantes precursores de PM_{2.5} secundario, como lo son los SO_x y VOC, y el diésel a su vez aporta el 75% de los NO_x, otro precursor de PM_{2.5} secundario.

Para el caso de los gases de efecto invernadero, los resultados muestran que los camiones, motos y autos particulares son los principales responsables de las emisiones de CH₄ con un aporte del 35%, 22% y 18% respectivamente. En lo relacionado con el N₂O, los autos particulares son nuevamente los principales contribuyentes con un aporte de más del 61%, mientras los autos comerciales aportan el 11% y los camiones el 14%. En cuanto al CO₂, son los autos particulares, los camiones y las motos 4T los principales aportantes con contribuciones del 30%, 20% y 11% respectivamente.

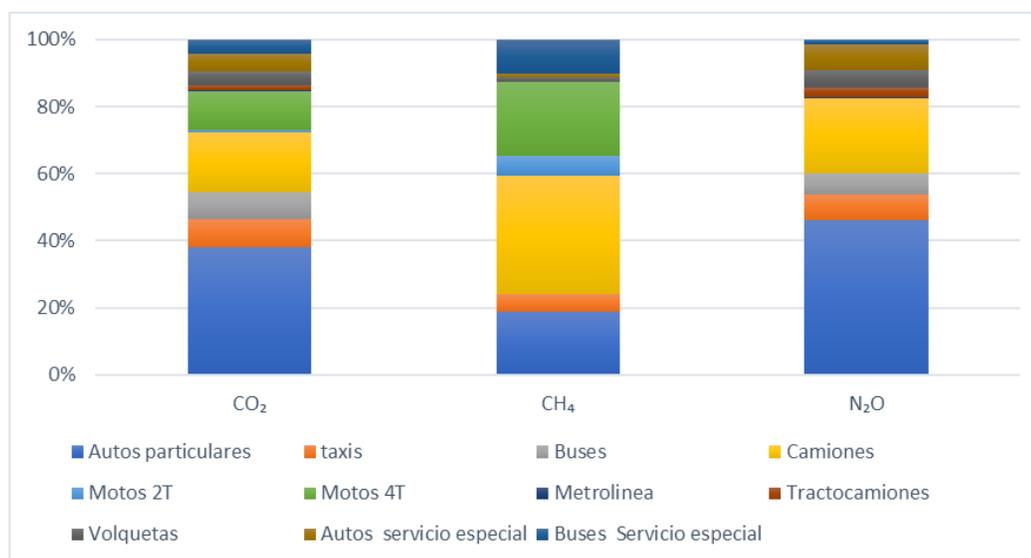
Tabla 16 Emisiones de GEI por categoría vehicular

Categoría vehicular	ton/año		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Autos particulares	597.819	423	19
Autos de servicio especial	85.729	24	3
Buses	128.181	-	3
Buses de servicio especial	63.771	228	1
Camiones	281.671	789	9
Metrolínea	5.033	-	0
Motos 2T	8.097	140	-
Motos 4T	181.721	495	-
Taxis	129.133	120	3

Tractocamiones	24.026	-	1
Volquetas	63.688	29	2
Total	1.568.868	2.248	41

Fuente: Autor.

Figura 26 Distribución de emisiones GEI por categoría vehicular



Fuente: Autor.

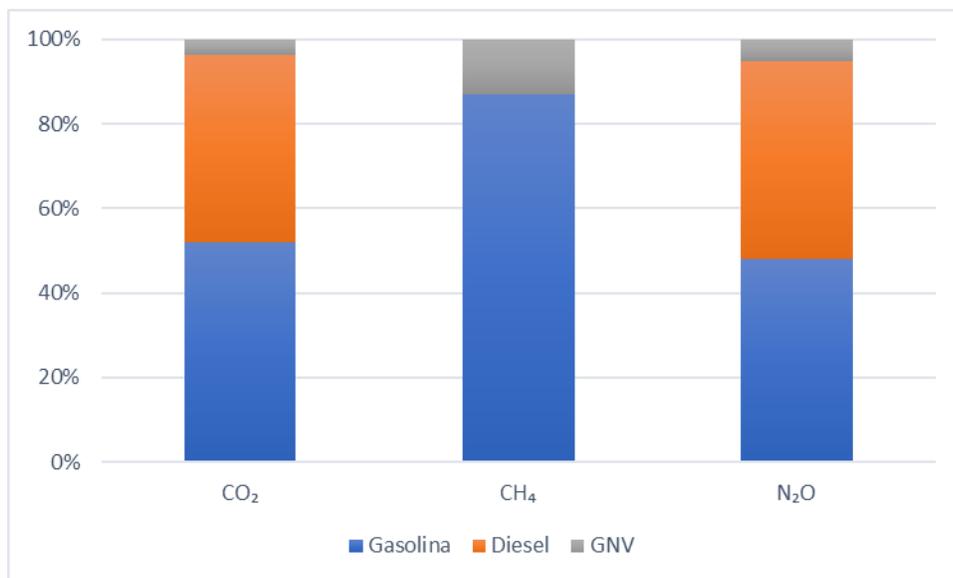
Las emisiones de GEI por tipo de combustible, indica que, para el CO₂, contribuyen la gasolina con un 52%, el diésel con un 44% y el GNV con el 4% restante. Mientras que las emisiones de CH₄ se encuentran dominadas por la gasolina, con un aporte del 86%. En cuanto al N₂O, sus emisiones provienen de la gasolina en un 48%, por el diésel en un 46% y por el GNV en un 6%.

Tabla 17 Emisiones de GEI por tipo de combustible

Combustible	ton/año		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gasolina	817.337	1.953	20
Diésel	695.684	-	19
GNV	55.846	295	2
Total	1.568.868	2.248	41

Fuente: Autor.

Figura 27 Distribución de emisiones GEI por tipo de combustible



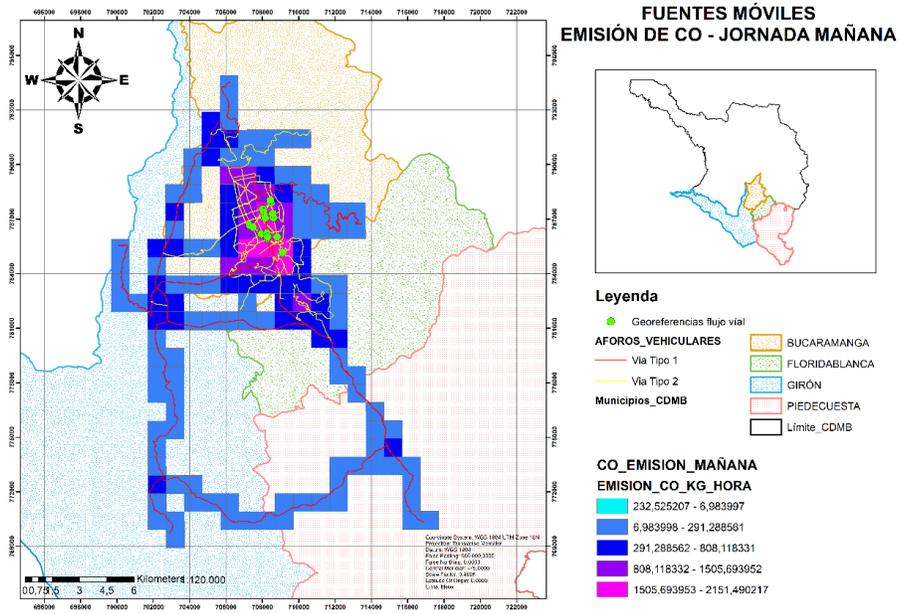
Fuente: Autor.

Distribución espacial de las emisiones

Esta categoría tiene en cuenta la selección de la red vial de tránsito, la distribución de la flota vehicular, la intensidad del tránsito horario calculada a partir de aforos y los balances de flujo vehicular. Actualmente el Área Metropolitana de Bucaramanga no cuenta con un sistema de monitoreo para el conteo vehículos en los municipios.

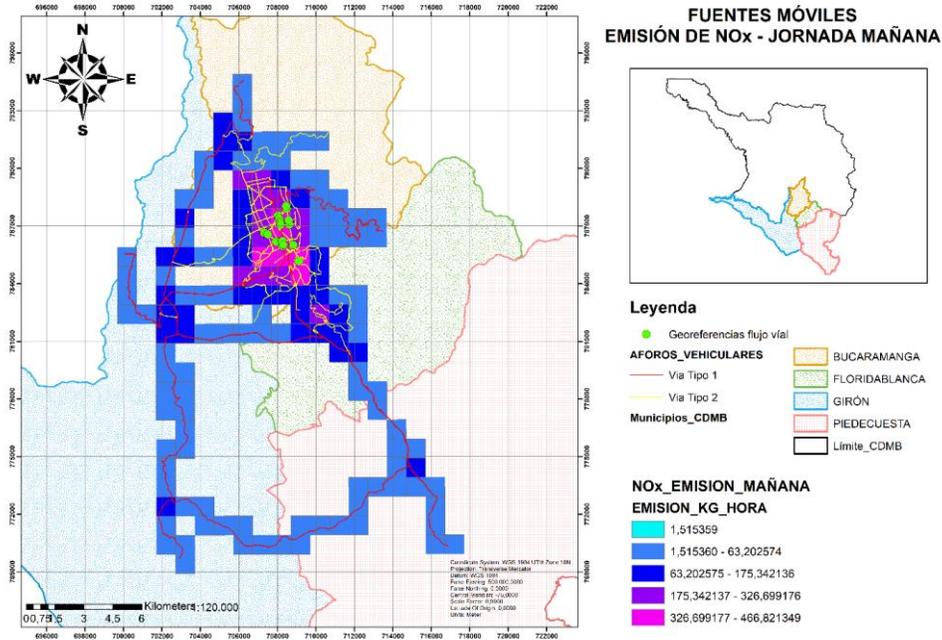
A continuación, se presentan los mapas con la distribución espacial de las emisiones de acuerdo con cada contaminante. La totalidad de los mapas se presenta en el Informe de Inventario de emisiones Fuentes Móviles.

Figura 28 Distribución espacial de concentración de CO



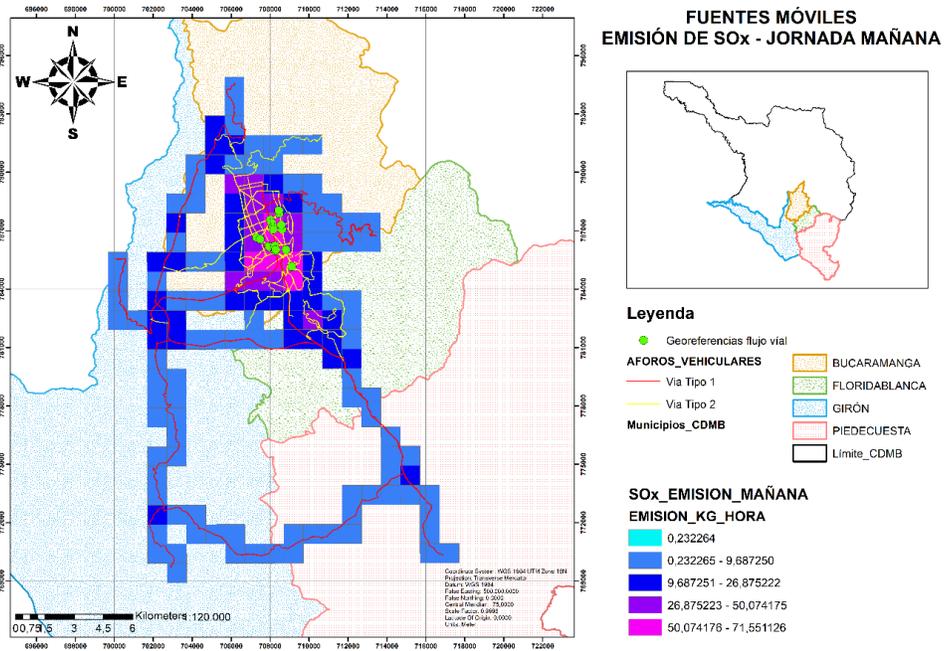
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 29 Distribución espacial concentración NOx



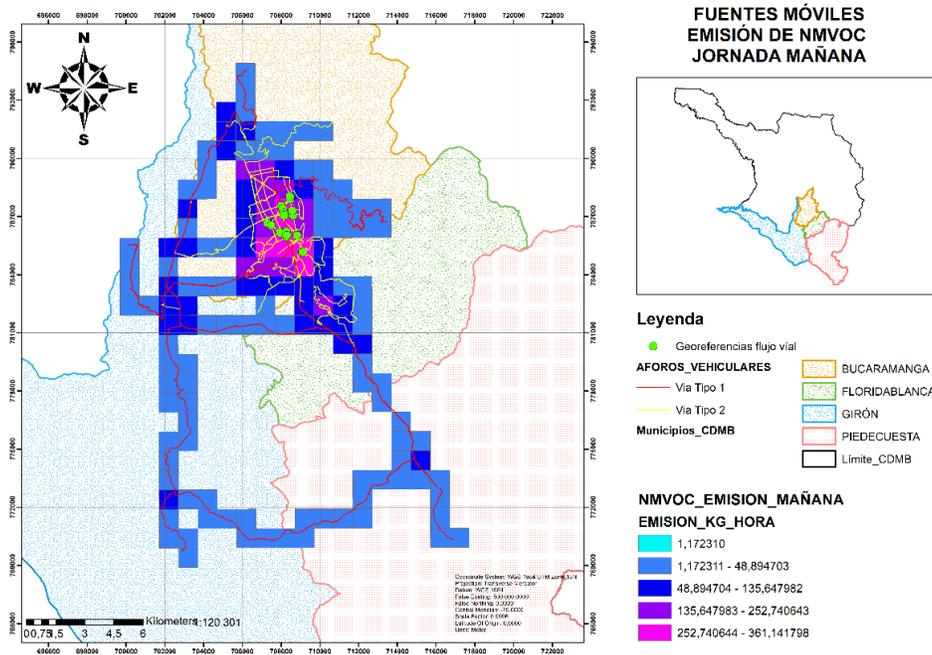
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 30 Distribución espacial concentración SOx



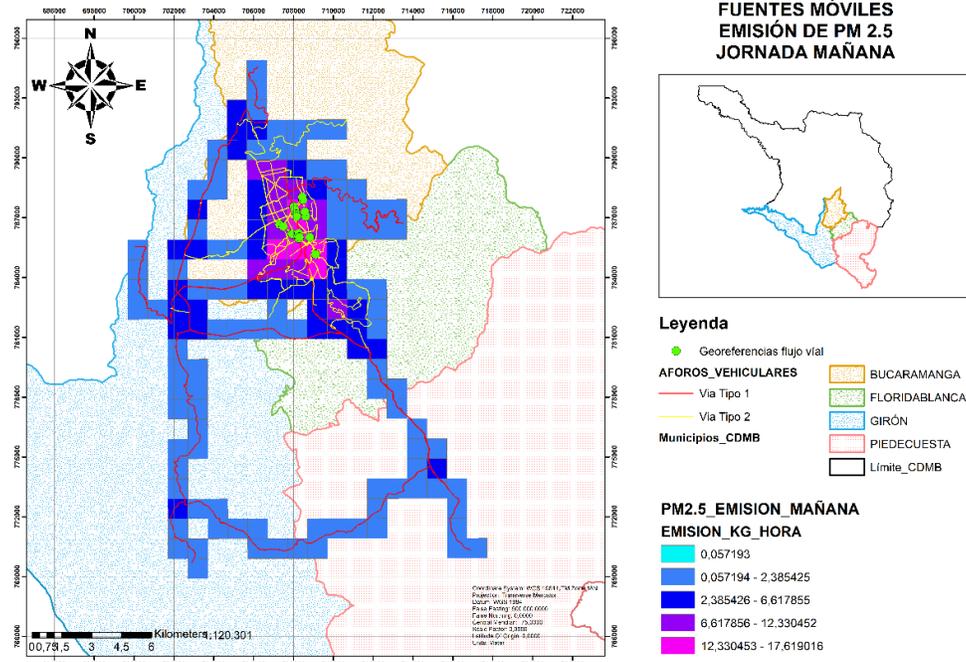
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 31 Distribución espacial concentración NMVOC



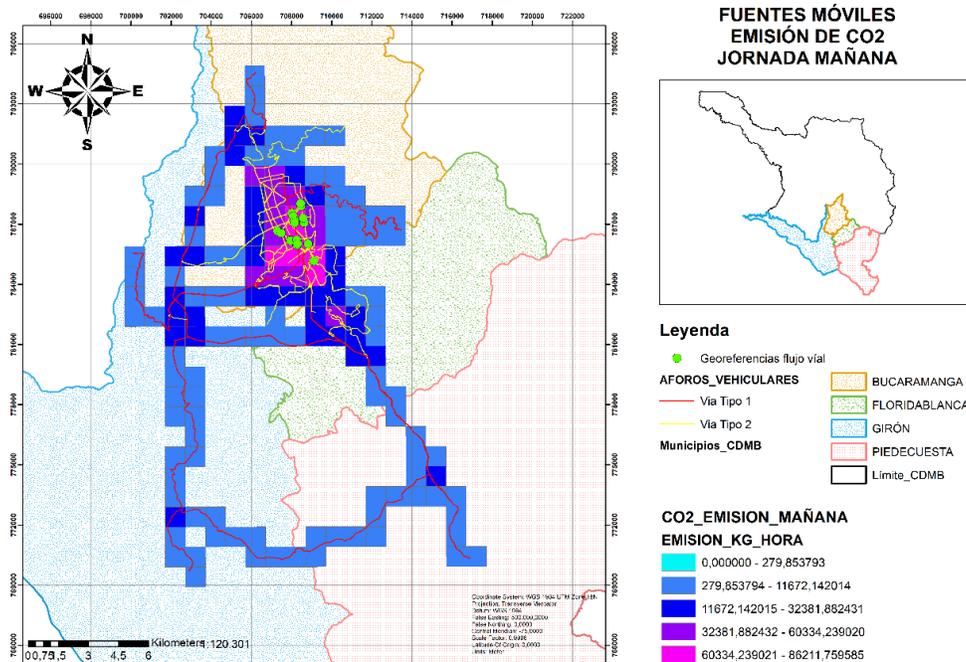
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 32 Distribución espacial concentración PM_{2.5}



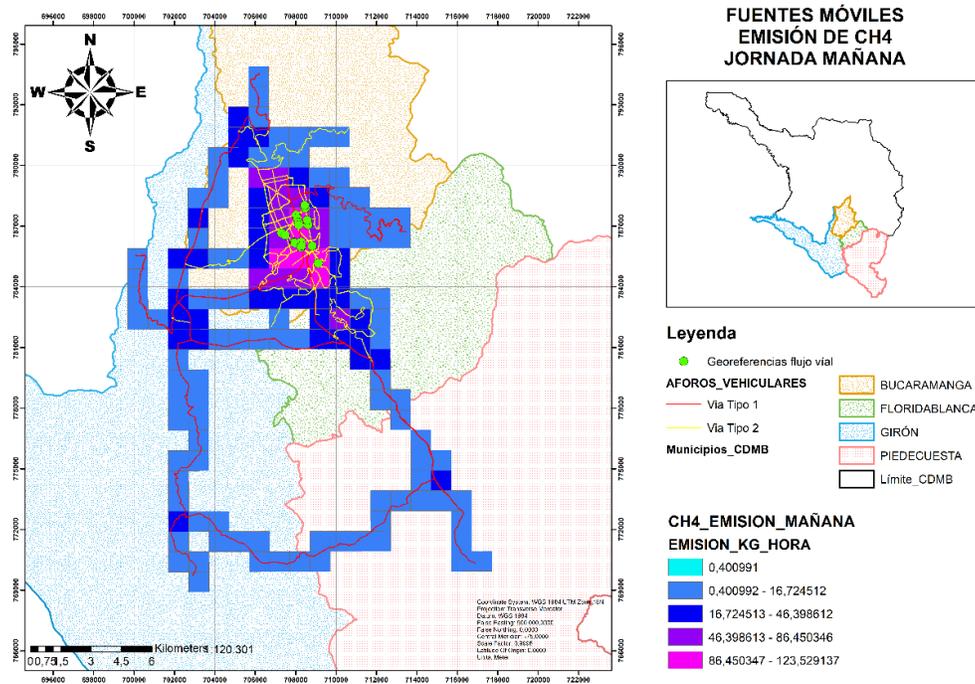
Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 33 Distribución espacial concentración CO₂



Fuente: Autor, Inventario de emisiones, 2021.

Figura 34 Distribución espacial concentración CH₄



Fuente: Autor, *Inventario de emisiones, 2021*.

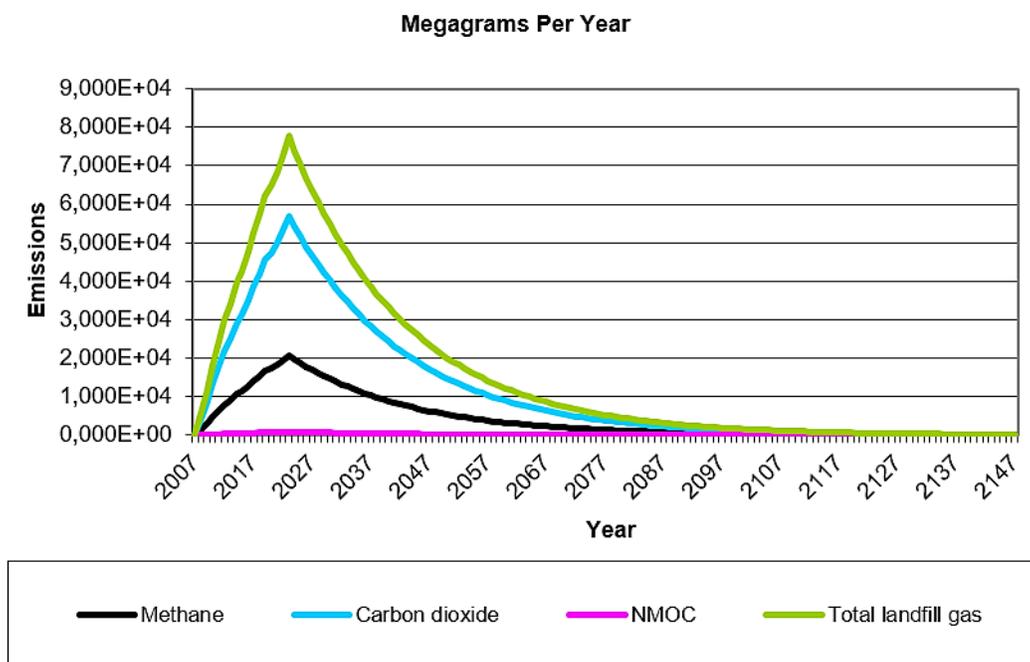
• FUENTES DE ÁREA

Relleno Sanitario

Para el cálculo de las emisiones provenientes de la degradación de los Residuos Sólidos Urbanos –RSU, se emplea el modelo matemático LandGem, tomando variables como: cantidad de residuos dispuestos anualmente, producción per cápita de RSU, capacidad de diseño del relleno sanitario, área de disposición; además de información relacionada al año de apertura y de clausura y vida útil del relleno sanitario. Estos datos fueron suministrados por la Empresas de Aseo de Bucaramanga –EMAB y algunos datos fueron extraídos de informes que reposan en la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB.

De acuerdo con los parámetros de entrada del modelo y la información recopilada para el mismo, se determinó el volumen generado de biogás, CH₄, CO₂ y NMOC. Para consultar los datos de entrada, remitirse al Informe de Fuentes Fijas.

Figura 35 Variación de biogás estimado por el modelo en Mg/año



Fuente: Modelo LangGEM V 3.02 ejecutado.

Según el modelo, y considerando una composición media del biogás de 50% de metano y 50% de dióxido de carbono, y que el inicio de captura de biogás es en el año 2007 según los valores de k y L_0 descritos, el potencial de recuperación de biogás estimado llegará a su punto más alto en el año 2023 con $62.210.583,57 \text{ m}^3/\text{año}$ del total de los gases y $31.105.291,78 \text{ m}^3/\text{año}$ de CH_4 , es decir, un año después de su clausura. Posteriormente disminuirá año a año. El promedio de gas generado para el periodo estudiado corresponde a $12.616.241,81 \text{ m}^3/\text{año}$ Total de gases y $6.308.120,91 \text{ m}^3/\text{año}$ de CH_4 . Y la generación de gas para el año 2021 es de $27.464.725,67 \text{ m}^3/\text{año}$ de Metano (CH_4) y del total de gases $54.929.451,33 \text{ m}^3/\text{año}$.

Áreas descubiertas

Mediante el uso del software de georreferenciación Google earth pro, se ubicaron zonas mineras, ladrilleras o de construcción con suelo descubierto por remoción de material en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta, las cuales, bajo condiciones anteriormente mencionadas, son precursoras de emisiones eólicas de (PST), PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$. Cada área está ligada a su respectiva razón social, a excepción de los denominados "NN" los cuales no fue posible su identificación por medio de la georreferenciación.

Para la estimación de estas emisiones, el método se basó en el uso de los factores de emisión aportados por la EPA US AP-42 Capítulo 13.2.5 Erosión Industrial por viento aplicados al proceso de minería para el cálculo de la emisión de material particulado total (PST), PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$.

Tabla 18 Factores de emisión de Erosión Eólica de TSP, PM₁₀ y PM_{2.5} para el Área Metropolitana de Bucaramanga

	(PST)	PM ₁₀	PM _{2.5}	Unidades
Zona Norte	30.82	15.41	2.31	<i>kg</i>
Zona Sur	5.07	2.54	0.35	<i>hectárea * año</i>

Fuente: Elaboración Propia. Los puntos indican decimales (.) y las comas indican miles (,).

A continuación, se presenta el total de emisiones para los 4 municipios de estudio (Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta)

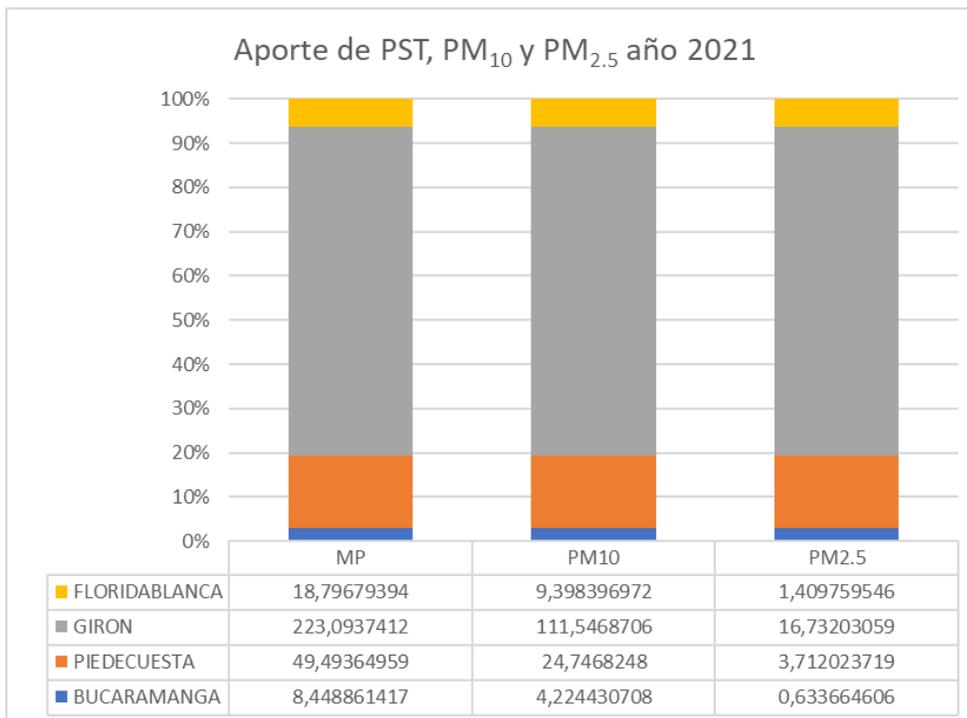
Tabla 19 Emisiones por áreas descubiertas

Emisión (ton/año)		
MP	PM ₁₀	PM _{2.5}
299,833046	149,916523	22,48747846

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa, en los 4 municipios (Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta) del año 2021 se emitieron 472 toneladas de Material Particulado de diferentes tamaños correspondientes a la emisión por erosión eólica. El municipio de Girón es el que más aporta con un 74%, Piedecuesta con 16% y Floridablanca con el 0.6%. En la Tabla se discriminan los resultados de cada área descubierta.

Figura 36 Aportes de las emisiones por municipio



Fuente: Elaboración Propia

Estaciones de servicio

A nivel mundial, el gran consumo de petróleo para el transporte no sólo incide en enormes cantidades de emisiones de gases de escape vehicular, sino también en emisiones fugitivas de compuestos orgánicos volátiles (COV) del sistema de distribución de combustible a la atmósfera (Zheng et al., 2018).

Las pérdidas en operaciones de carga son la principal fuente de emisiones evaporativas. Las pérdidas de carga ocurren cuando los vapores orgánicos en los tanques de carga "vacíos" se desplazan hacia la atmósfera por el líquido que se carga en los tanques. Estos vapores son un compuesto de vapores formados en el tanque vacío por evaporación del producto residual de cargas anteriores, vapores transferidos al tanque en sistemas de equilibrio de vapor a medida que se descarga el producto, y vapores generados en el tanque como producto nuevo que se está cargando (US, EPA 2008).

De acuerdo con los factores de emisión considerados y el consumo en el año 2021 de combustible por municipio se estiman las emisiones de compuestos orgánicos volátiles por combustible.

Tabla 20 Estimación emisiones COV en los municipios

EMISIÓN COV (Ton/Año)			
MUNICIPIO	GASOLINA	DIESEL	Total
Bucaramanga	358	10	368
Floridablanca	118	2	120
Piedecuesta	95	4	100
Girón	67	5	72
	638	22	

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, se realizó la estimación de emisiones por el almacenamiento en tanques. Con la información suministrada por la compañía Terpel, en su planta de Chimitá cuentan con 7 tanques que contienen las sustancias generadoras de emisiones de compuestos orgánicos volátiles analizados (Gasolina, Diésel). A continuación, se muestra el contenido de los tanques y las pérdidas estimadas en el Software Tanks 4.0 (herramienta diseñada por la EPA y utilizada en la estimación).

Tabla 21 Pérdidas por tanque

Identificación Tanque	Producto	Tipo de Tanque	Pérdidas (Gal/Año)
T001	Gasolina	Techo Interno Flotante	1.86
T002	Diésel	Techo Fijo	0.32
T004	Gasolina	Techo Interno Flotante	1.02
T011	Diésel	Techo Fijo	0.45

T012	Gasolina	Techo Fijo	16.5
T013	Gasolina	Techo Interno Flotante	1.34
T015	Diésel	Techo Interno Flotante	0.82

Finalmente, se muestran las emisiones calculadas para esta actividad:

Tabla 22 Emisión por combustible almacenado

	VOC(kg/h)	VOC(Ton/Año)
GASOLINA	2.36	20.72
DIÉSEL	0.181	1.59
TOTAL	2.541	22.31

- EMISIONES COMPILADAS**

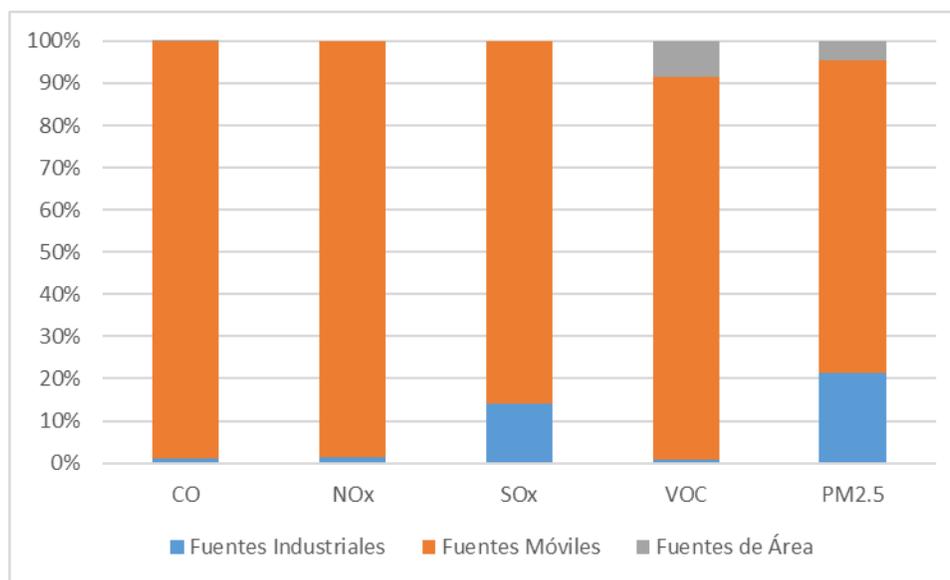
Teniendo en cuenta la información presentada anteriormente, y con el fin de realizar el análisis de aporte de emisiones para las fuentes fijas, fuentes móviles y fuentes de área, se presentan a continuación los resultados compilados del inventario de emisiones atmosféricas para el área de estudio del presente Plan de Gestión de la Calidad del Aire.

Tabla 23. Total de emisiones generadas por fuentes fijas y móviles

	CO (Ton)	NOx (Ton)	SOx (Ton)	VOC (Ton)	PM _{2.5} (Ton)
Fuentes Fijas	427,137	130,298	235,673	57,960	101,264
Fuentes Móviles	43158	9364	1435	7244	353
Fuentes de área	9,02	-	-	682,31	22,487

Fuente: Autor.

Figura 37 Porcentaje de emisiones provenientes de fuentes móviles y fuentes fijas



Fuente: Autor.

De acuerdo con el análisis comparativo, el mayor porcentaje de emisiones de contaminantes criterio es aportado por las fuentes móviles presentes en los municipios del área de estudio, superando el 75% en la mayoría de los casos.

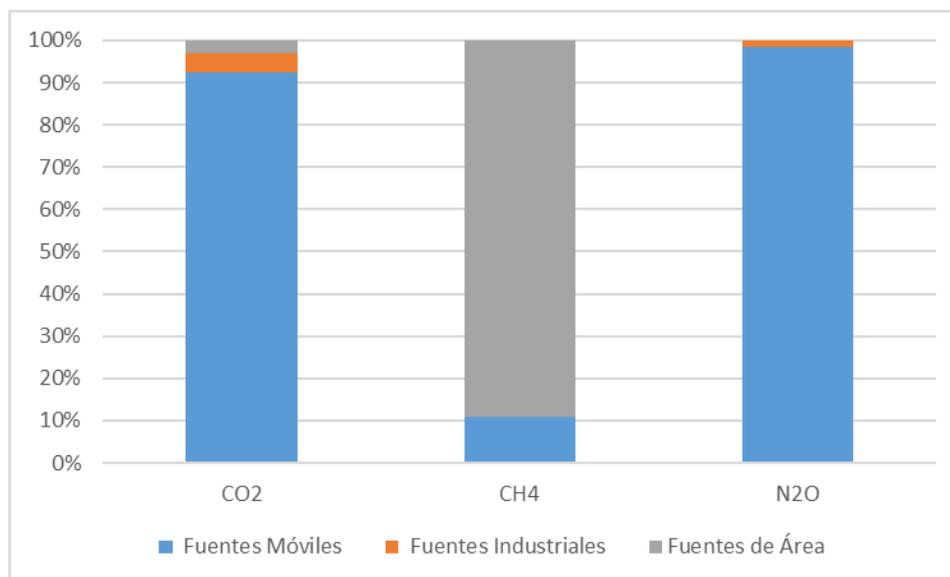
Adicionalmente, para la generación de gases de efecto invernadero, se encuentra que de igual forma que con los contaminantes criterio, las fuentes móviles son las responsables de la mayor cantidad de emisiones de contaminantes de CO y N₂O, en el caso del metano CH₄, el mayor porcentaje es aportado por fuentes de área, teniendo en cuenta que allí se encuentran incluidas las emisiones del relleno sanitario.

Tabla 24 Emisiones de GEI por fuentes móviles y fuentes fijas

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Fuentes Móviles	1.568.868,00	2.248,00	41,00
Fuentes Fijas	75.317,00	8,01	0,65
Fuentes de área	50.612,29	18.446,29	-

Fuente: Autor.

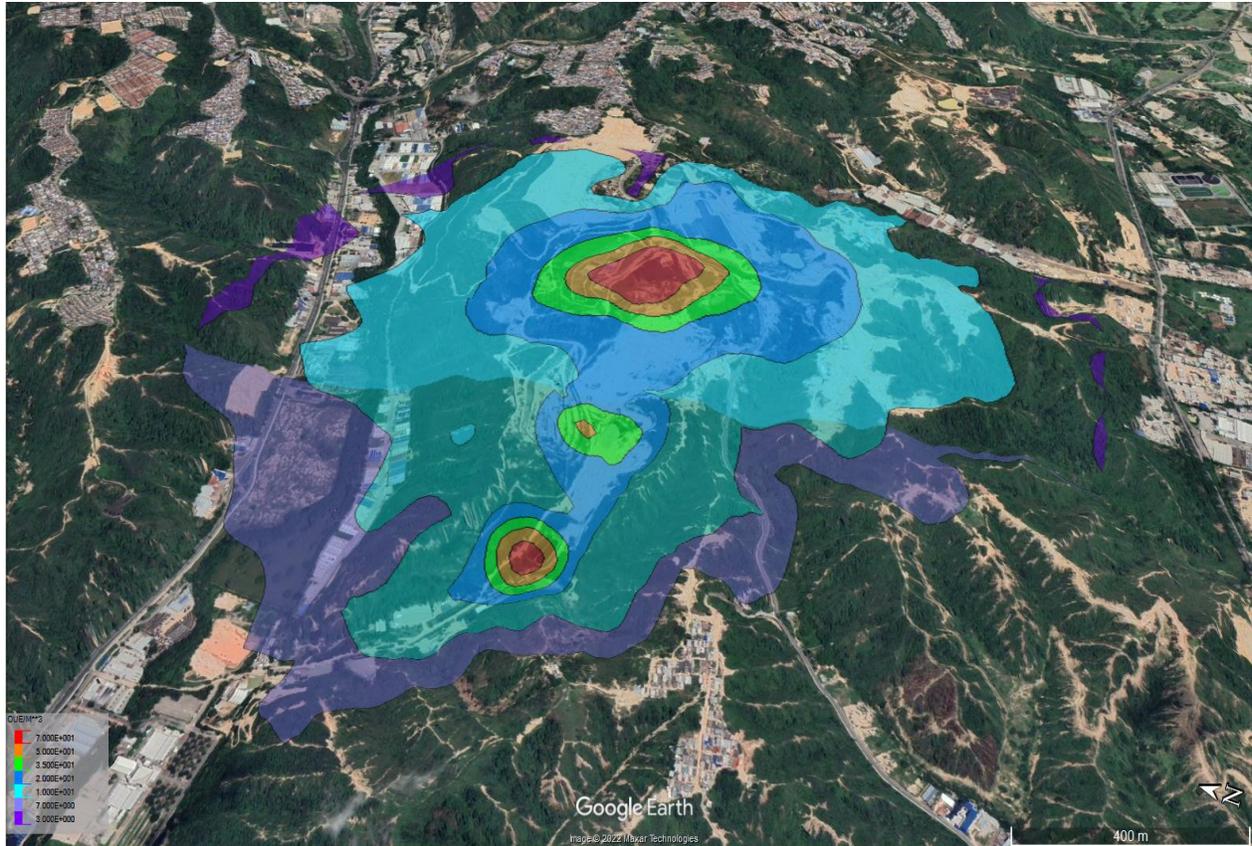
Figura 38 Distribución de las emisiones de GEI por fuentes móviles y fijas



Fuente: Autor.

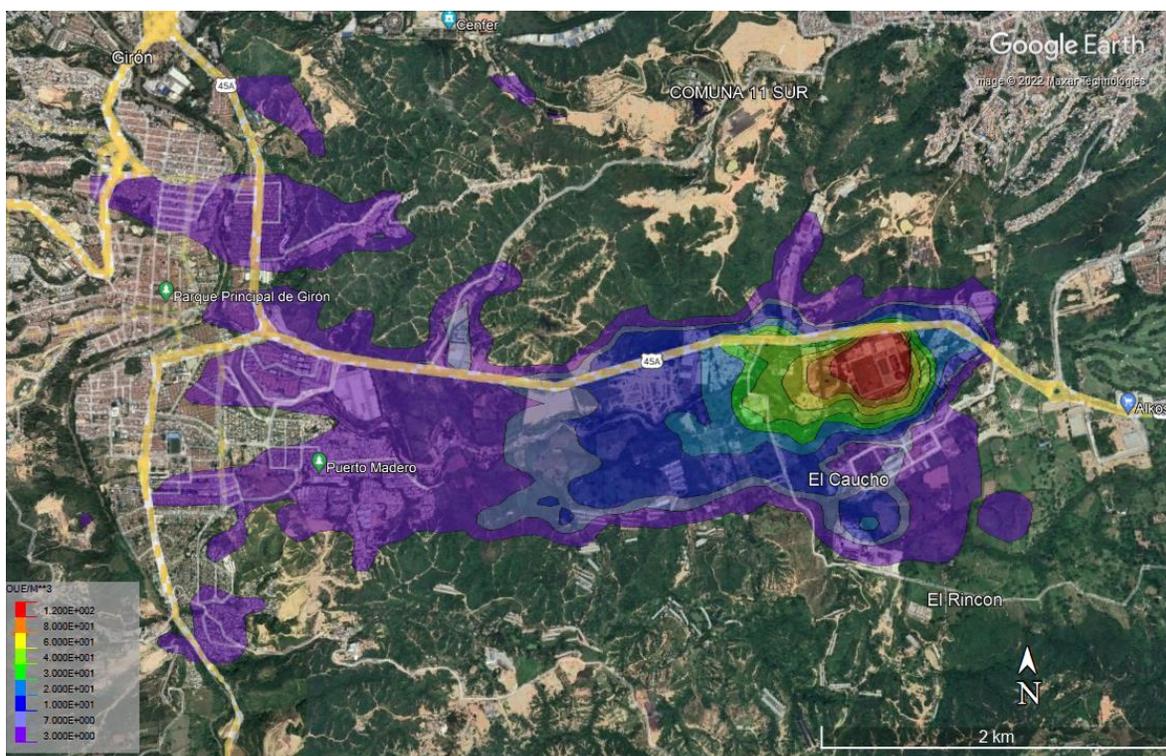
- **OLORES OFENSIVOS**

En cuanto a la temática de olores ofensivos, se realizaron los ejercicios de dispersión sobre el relleno sanitario y la planta de tratamiento de agua residual ubicada en el municipio de Floridablanca. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Figura 39 Dispersión de olor en el relleno sanitario El Carrasco para el año base 2021.

En la Figura 39 se observa la dispersión asociada al relleno sanitario El Carrasco, la cual tiene una dispersión efectiva de concentraciones que viajan hacia el occidente la mayor parte del tiempo con concentraciones que van desde 70 a 3 OUE/m³. Las mayores concentraciones se encuentran al interior del relleno sanitario en el vaso activo del mismo, sin embargo, hay concentraciones de olores que llegan a comunidades vecinas al relleno que son de 7 y 10 OUE/m³, aclarando que el nivel máximo permisible para este tipo de procesos es de 3 OUE/m³ según la resolución 1541 de 2013 del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El relleno sanitario se encuentra sobre unas laderas y su vaso de disposición activo está encerrado sobre ellas, haciendo que las corrientes de aire arrastren las dispersiones de olores en este caso sobre la parte central de la formación geológica en el mismo relleno sanitario.

Figura 40 Dispersión de olor en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el año base 2021.

Los resultados de modelación de las emisiones de olor provenientes de los procesos y fases de tratamiento de las aguas residuales, realizado en la PTAR Río Frío, mostró una pluma de dispersión desplazada hacia el oeste, en dirección a la zona urbana del municipio de Girón, con una concentración máxima de inmisión de 120 OUE/m³, la cual se presentaría principalmente sobre la zona interna del perímetro de la planta. Estas concentraciones se dispersarían por fuera de la planta en dirección favorable del viento, pudiendo alcanzar concentraciones de hasta 80 OUE/m³ en algunas zonas pobladas próximas a la PTAR; sobre la zona urbana del municipio de Girón, las concentraciones que se podrían presentar podrían ser de alrededor de 3 OUE/m³.

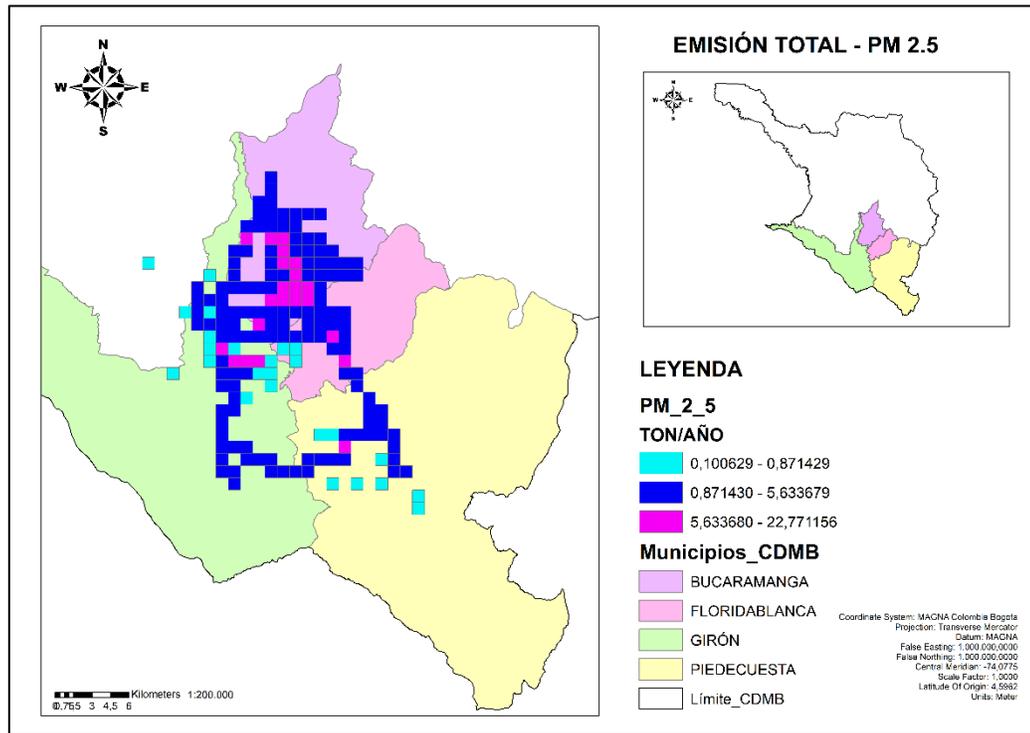
Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible establecido en la Resolución 1541 de 2013 para las plantas de tratamiento de aguas residuales es de 3 OUE/m³, estos resultados mostrarían que habría un incumplimiento normativo y que se presentaría un impacto considerable sobre la comunidad más cercana a la PTAR. Bajo este escenario, se haría necesario implementar mejoras en la planta, con miras a reducir la emisión de olores, sin que esto implique una modificación a las etapas del proceso de tratamiento de las aguas residuales.

Se Realizó adicionalmente un ejercicio de dispersión por otras fuentes que se puede consultar en la carpeta Alcance 1/Inf Mod Dispersión.

- **ZONA DE MAYOR CANTIDAD DE EMISIONES**

A partir de los resultados obtenidos en el inventario de emisiones, se realizó la distribución espacial de las emisiones atmosféricas, permitiendo así la identificación de las zonas con mayor cantidad de emisiones. A continuación, se muestran los resultados.

Figura 41. Mapa de la distribución de las emisiones totales en el área metropolitana de Bucaramanga.



La

Figura 41 nos permite identificar que la zona central de Bucaramanga, es el área con mayor concentración para PM_{2.5}, no obstante, en el área nororiente del municipio de Girón se presentan altas concentraciones de dicho contaminante.

4.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE

En este aparte se describirán las principales características de la calidad del aire actualmente en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga ya que, a partir de esta información, se dimensiona la magnitud del problema y se definen los esfuerzos necesarios para mejorar la calidad del aire propendiendo por la protección de la salud de los ciudadanos y la preservación del medio ambiente.

Como se ha venido describiendo a lo largo de este documento, la calidad del aire en un área específica depende de muchos factores entre los que se encuentran las características topográficas que imponen límites físicos o no, a la dispersión de contaminantes, las condiciones meteorológicas que determinan la ventilación, transporte y dilución de contaminantes; de igual forma, diversos procesos fisicoquímicos en la atmósfera que dan como resultado la formación de otros contaminantes diferentes a los emitidos originalmente.

Se realizará la descripción del medio físico en el que se ubican los 4 municipios del área metropolitana de Bucaramanga, así como sus condiciones meteorológicas. Adicionalmente, se

presentarán los datos correspondientes a las mediciones de calidad del aire en la zona y su estado frente a la normatividad vigente.

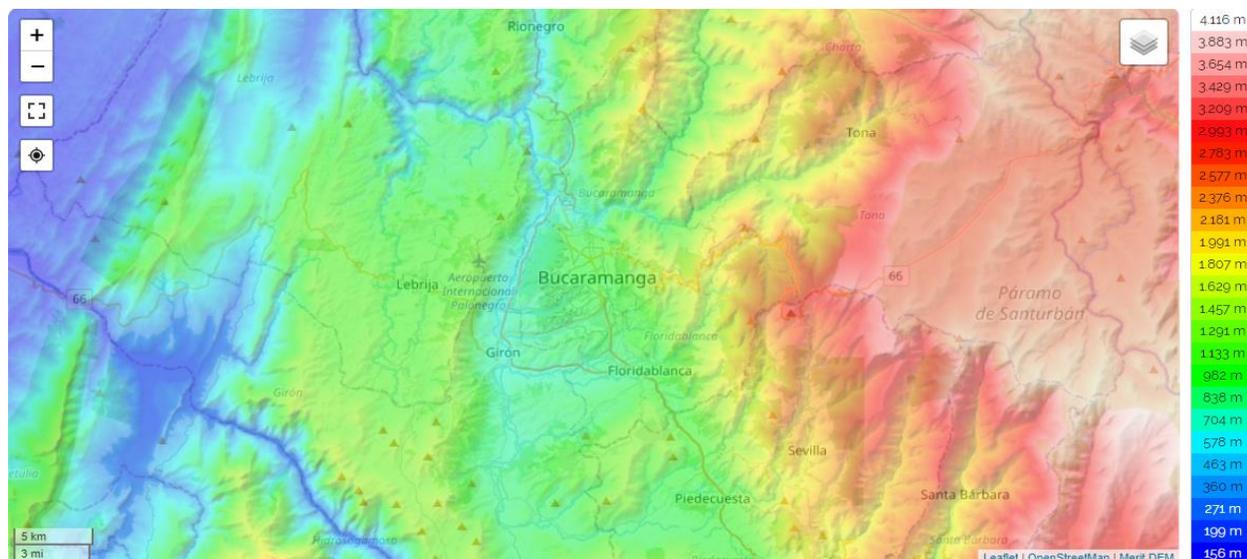
4.3.1. TOPOGRAFÍA DE LA ZONA

Los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta están ubicados sobre el valle del Río de Oro, donde se vislumbran dos sectores de diferente conformación física: uno, formado por la meseta, y otro, por el valle, a 916 metros sobre el nivel del mar aproximadamente, generando climas variados entre cálido y frío.

La topografía de Bucaramanga es en promedio un 15% plana, 30% ondulada y el restante 55% es quebrada. Tres grandes cerros se destacan a lo largo del territorio: Morro Rico, Alto de San José y El Cacique. En general, en el área metropolitana de Bucaramanga, se presenta una alterada geografía que ofrece un sinnúmero de valles, mesetas, montañas y colinas, accidentes territoriales que presentan una variada climatología.

Estos municipios forman una conurbación que se encuentra ubicada en el valle del Río de Oro, donde su núcleo principal es el municipio de Bucaramanga al ser el que cuenta con mayor número de habitantes. Es de anotar que estos municipios de igual forma se encuentran inscritos en la cuenca alta del río Lebrija, del río Sogamoso y en menor proporción a la cuenca del río Chicamocha. La zona urbana de los municipios pertenece a la subcuenca del Río de Oro y hacen parte de la zona hidrográfica del Magdalena Medio. Las microcuencas Río Frio, Oro Medio y Oro Bajo son las más pobladas y las de menor densidad de población corresponden a Río Lato y Oro Alto. (AMB, 2016). Adicionalmente, la altura media sobre el nivel del mar presentada en estos municipios es de aproximadamente 959 metros.

Figura 42 Características del relieve topográfico de la zona



Fuente: <https://es-co.topographic-map.com/maps/sqo6/Bucaramanga/>

4.3.2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Como es conocido, las condiciones meteorológicas tienen una relación directa y gran influencia en las condiciones específicas de la calidad del aire en las regiones, debido a que desempeñan un papel determinante para el transporte, dispersión, transformación y remoción de los contaminantes en el aire. (AMVA, 2017).

- **Temperatura**

Ubicado en la zona intertropical, el área metropolitana de Bucaramanga recibe mayor insolación por unidad de superficie y registra una temperatura promedio de 23°C para sus 4 municipios. Analizando la totalidad de la microcuenca Río de Oro, los meses más fríos son diciembre y enero (Área Metropolitana de Bucaramanga; ONU HÁBITAT, 2016). A continuación, se presenta la temperatura promedio para cada uno de los municipios del área, así como su altura sobre el nivel del mar (m):

Tabla 25 Temperatura y altura sobre el nivel del mar promedio

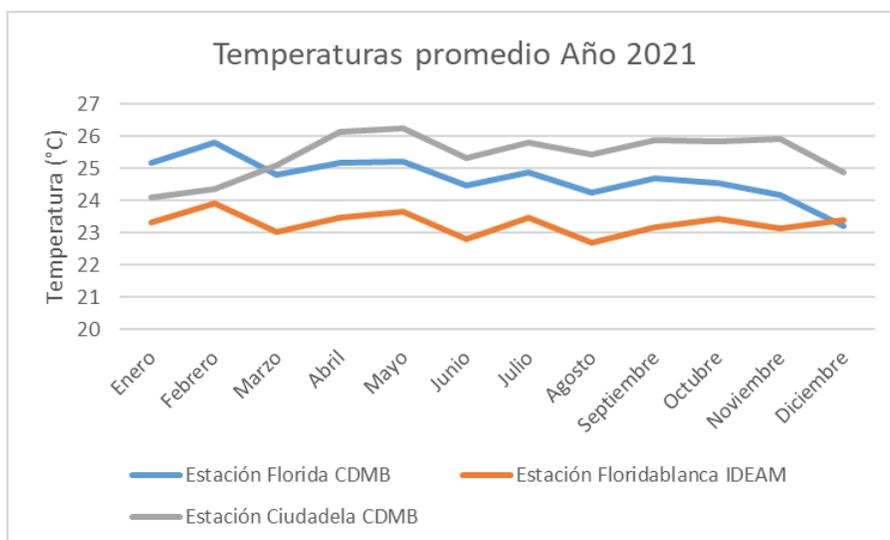
Municipio	Altura sobre el nivel del mar	Temperatura promedio (°C)
Bucaramanga	959	23
Floridablanca	925	23
Girón	777	24,5
Piedecuesta	1005	23

Fuente: Plan Integral de Desarrollo Metropolitano 2016-2026.

La variación de la temperatura de superficie es un fenómeno meteorológico que influencia la dirección y transporte de los contaminantes en el aire, siendo esta un indicador de la cantidad de energía solar retenida por el aire.

Según la información consultada, que incluye las estaciones Florida y Ciudadela de la CDMB y la estación Floridablanca reportada por el IDEAM, las temperaturas más altas se registran en la estación Ciudadela ubicada en Bucaramanga. A continuación, se presenta la variación promedio de la temperatura en estas tres estaciones para el año 2021. Cabe aclarar que para las estaciones Florida y Ciudadela para el mes de diciembre, únicamente se cuenta con datos del primer día, por lo cual se consultaron otras fuentes de información como plataformas de datos meteorológicos (Climate-data.org) y se extrajo la temperatura promedio del mes.

Figura 43 Comportamiento de la temperatura en el año 2021.



Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB e IDEAM.

Según lo anterior, las temperaturas más altas se presentan en los meses de abril y mayo principalmente. Es importante tener en cuenta que la temperatura juega un papel muy importante en la estabilidad atmosférica, la cual propiciará según las condiciones la acumulación o no de los contaminantes en el aire.

• Precipitación

El régimen de lluvias en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga viene definido por la zona alta de la microcuenca Río de Oro, que presenta un comportamiento bimodal, es decir, que se presentan dos temporadas lluviosas al año y durante el resto del año se observan 2 periodos secos. De manera general, la lluvia es favorable para la disminución de las concentraciones de contaminantes en el aire, sin embargo, se deben tener en cuenta las demás condiciones del área ya que, en algunos casos, los fenómenos de precipitación pueden generar que gracias a la formación de capas espesas de nubes se dé un enfriamiento del aire próximo al suelo, que finalmente será diferente a las temperaturas de las capas con mayor altura, generando la inversión térmica, descrita anteriormente.

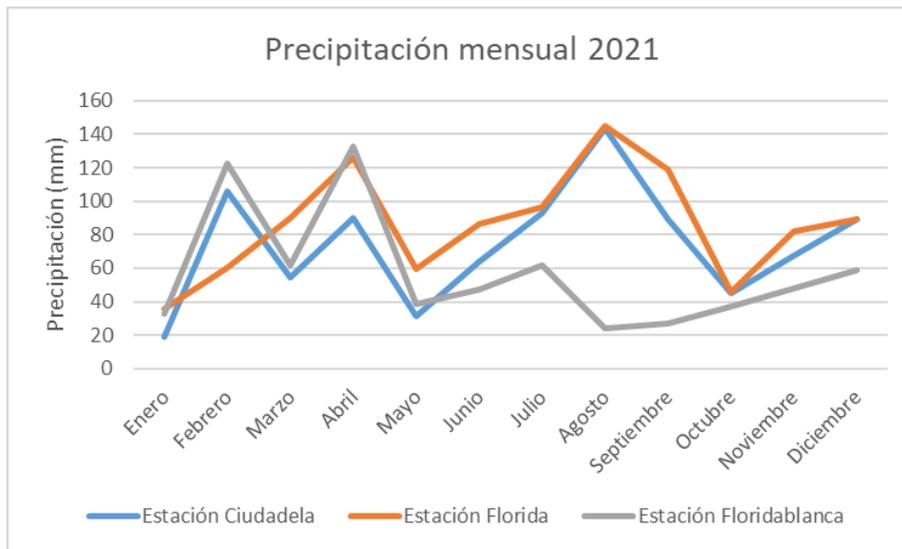
En el caso de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, y en general del país, las condiciones climatológicas pueden presentar variaciones teniendo en cuenta los fenómenos del niño y de la niña. A continuación, se presenta el comportamiento mensual de la precipitación en las estaciones Florida, Ciudadela y Floridablanca. Cabe aclarar que debido a que para las estaciones Florida y Ciudadela no se cuenta con datos para el mes de diciembre, se toma el valor promedio mensual histórico para este mes.

Tabla 26 Precipitación mensual estaciones año 2021

	Estación Ciudadela	Estación Florida	Estación Floridablanca
Enero (mm)	19	36	32,6
Febrero (mm)	106	60	122,6
Marzo (mm)	54,6	90	61,8
Abril (mm)	90,2	126,4	132,8
Mayo (mm)	31	59,4	38,4
Junio (mm)	64	86,4	47,2
Julio (mm)	92,6	96,2	62
Agosto (mm)	143,4	145	24
Septiembre (mm)	89,6	118,6	27,2
Octubre (mm)	45,2	46	36,8
Noviembre (mm)	67,4	81,8	47,8
Diciembre (mm)	89	89	58,6

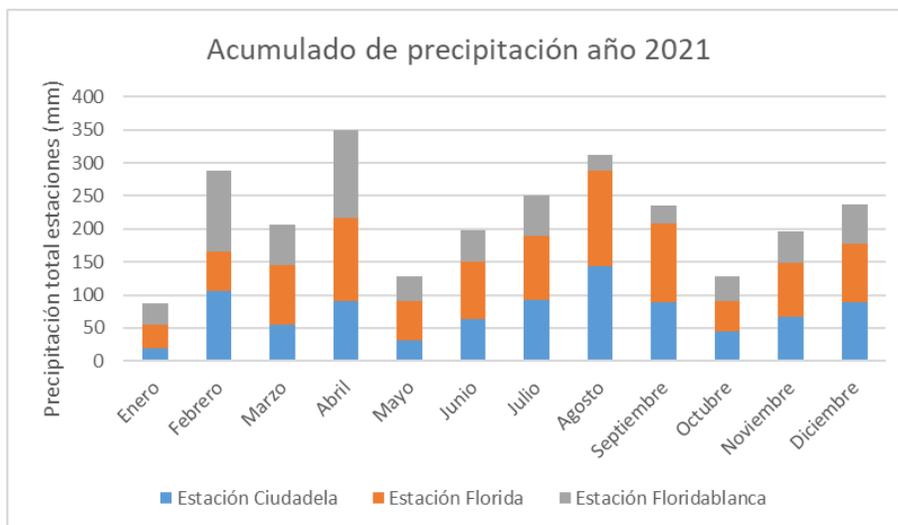
Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB e IDEAM.

Figura 44 Precipitación mensual estaciones año 2021



Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB e IDEAM.

Figura 45 Acumulado de precipitación mensual para el año 2021



Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB e IDEAM.

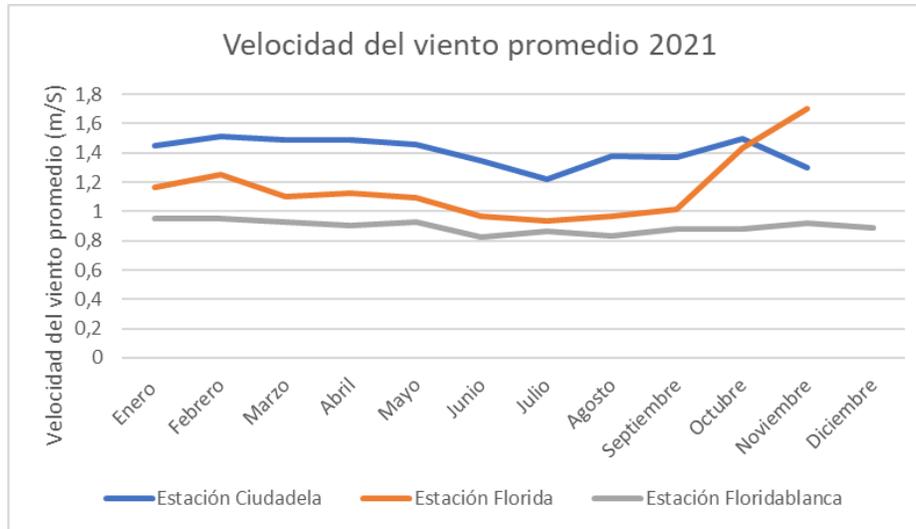
- **Velocidad y dirección del viento**

La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados. La dirección mide la componente horizontal de la velocidad del viento. Estos dos parámetros representan papeles importantes dentro del transporte, dispersión y transformación de los contaminantes atmosféricos emitidos.

De acuerdo con los registros de las estaciones que registran estos parámetros, para el año 2021, para Ciudadela y Floridablanca, la clase de vientos que predomina son aquellos que se encuentran entre 0,5 y 2,1 m/s los cuales son relativamente suaves y constantes. Para la estación Florida, el mayor porcentaje se encuentra para la clase de vientos calmos (menor a 0,5 m/s).

La velocidad máxima registrada en las estaciones de monitoreo corresponde a 5,2 m/s en la estación Ciudadela. De manera general, la velocidad del viento se mantiene con una tendencia constante a través de los meses del año. Las bajas velocidades en general pueden ocasionar que no exista una rápida dispersión de los contaminantes generados, lo cual de manera consecuente propicia la acumulación y una elevación en las concentraciones registradas por los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire.

Figura 46 Velocidad del viento promedio registrado en las estaciones

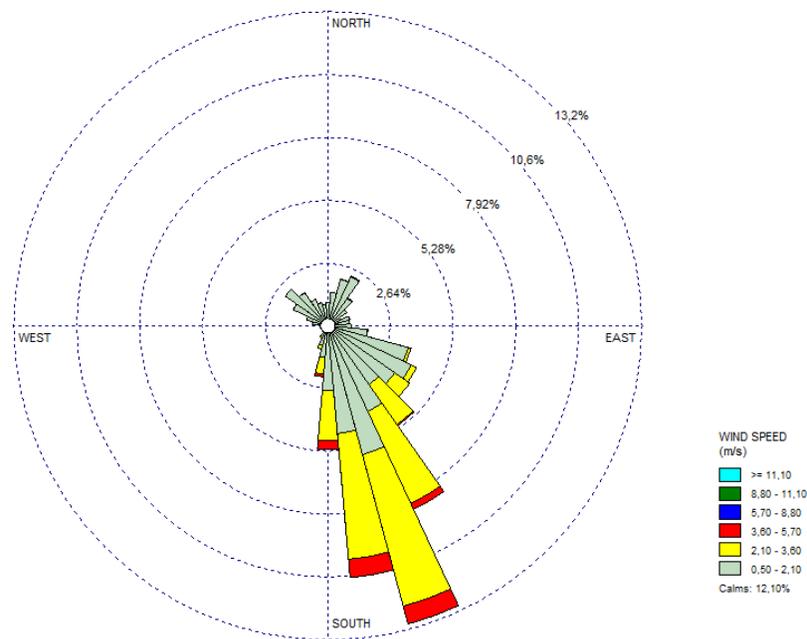


Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB e IDEAM.

Respecto a la dirección del viento, se presentan a continuación las rosas de vientos resultantes del procesamiento de la información de las tres estaciones mencionadas anteriormente, donde se evidencia que en la estación Ciudadela la mayor frecuencia se presenta con vientos provenientes del Noroeste, para la estación Florida, provenientes del Norte y Noroeste, y finalmente para la estación Floridablanca, vientos provenientes del Sureste.

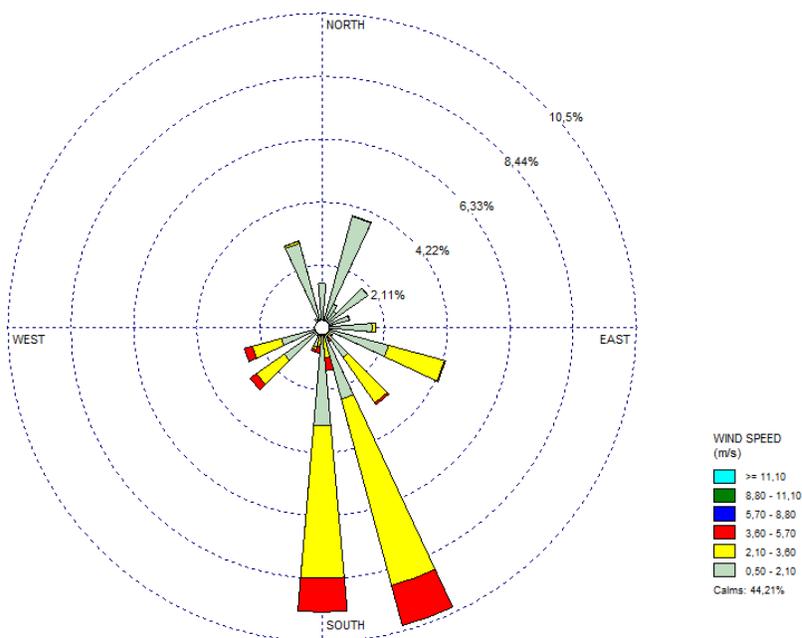
En este sentido, se generaron rosas de vientos que muestran la dirección a la que se dirige el viento, con el fin de determinar las zonas sobre las cuales se puede presentar el transporte de los contaminantes.

Figura 47 Rosa de vientos (Blowing to) para el año 2021, Estación Ciudadela



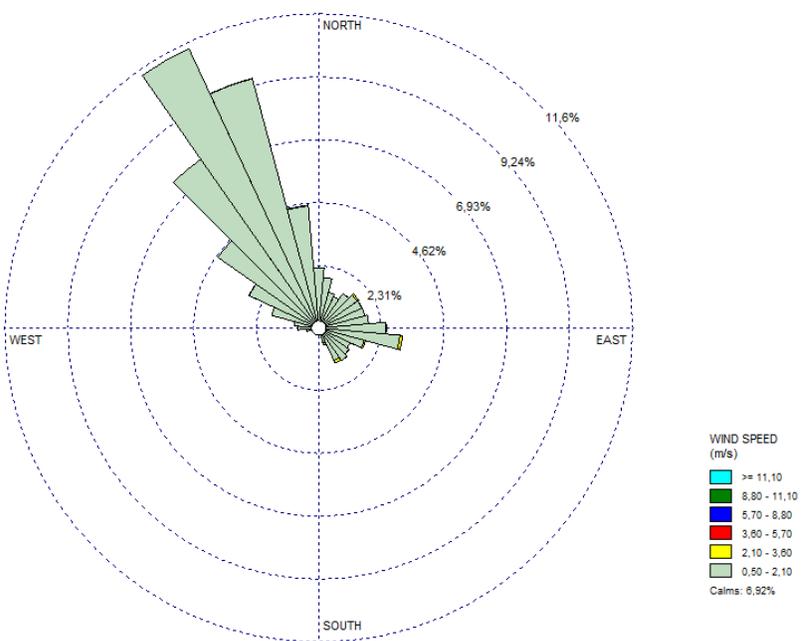
Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB e IDEAM con software WRPlot.

Figura 48 Rosa de vientos (Blowing to) para el año 2021, Estación Florida



Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB e IDEAM con software WRPlot.

Figura 49 Rosa de vientos (Blowing to) para el año 2021, Estación Floridablanca



Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB e IDEAM con software WRPlot.

La importancia de esta característica meteorológica radica en que dependiendo de esta se pueden dar periodos de tiempo donde por falta de vientos se den episodios de concentración de contaminantes en el territorio, por lo cual deben compararse con los registros de las estaciones de la calidad del aire presentes en la región.

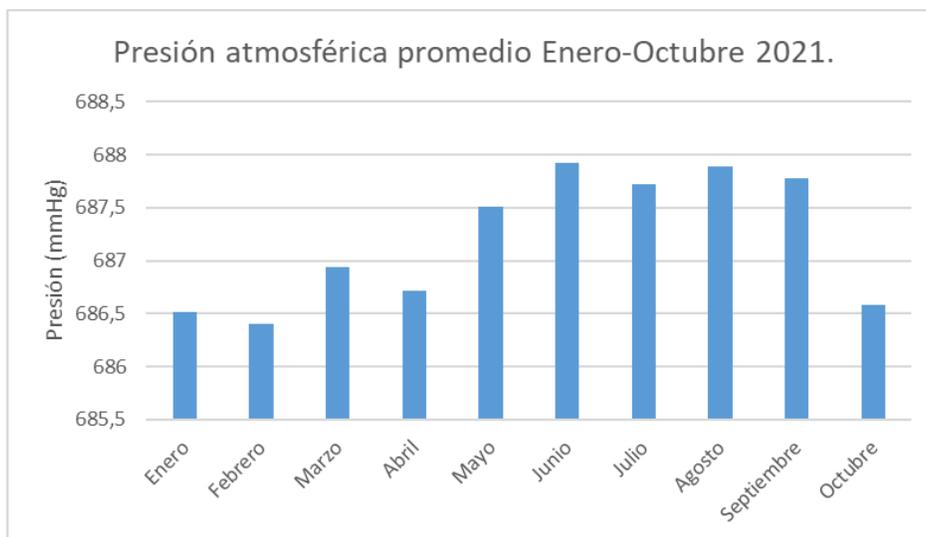
- **Presión atmosférica**

La presión atmosférica es el peso de la columna de aire que hay sobre cualquier punto o lugar de la tierra y es por tanto el peso por unidad de superficie. A grandes altitudes la presión atmosférica es menor que en lugares sobre el nivel del mar en donde la columna de aire es mucho mayor, de hecho, existen lugares por debajo del nivel del mar en donde la presión atmosférica es aún mayor que la presión atmosférica sobre el nivel del mar. Factores como la temperatura también determinan los valores de la presión atmosférica.

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 la radiación solar a la superficie, y por lo tanto la formación de inversiones térmicas que inhiben la dispersión vertical de los contaminantes. (AMVA-UPB, 2017).

A continuación, se presenta el promedio mensual de presión atmosférica en el año 2021. Para este parámetro únicamente se contó con datos de la estación Florida hasta el mes de octubre de 2021.

Figura 50 Promedio mensual presión atmosférica



Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB.

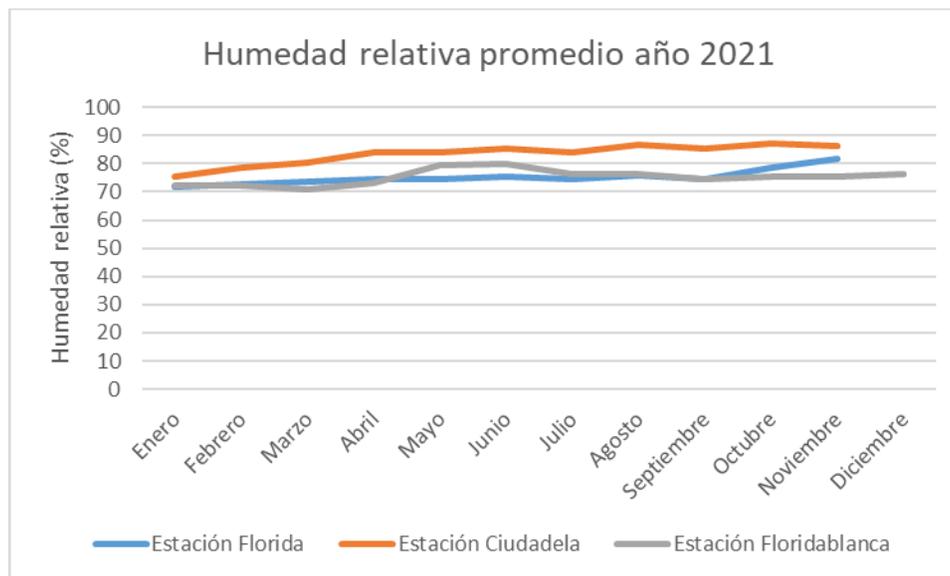
- **Humedad relativa**

La humedad representa la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire. Está directamente ligado a los niveles de lluvia que se presenten, siendo que, a mayores lluvias, mayores niveles de humedad. La humedad de igual forma juega un papel importante en los procesos

de formación de contaminantes de carácter secundario, y en la estabilidad atmosférica en general.

La humedad en el área metropolitana de Bucaramanga puede oscilar entre el 69% y el 86% aproximadamente.

Figura 51 Humedad promedio en las estaciones para el año 2021



Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB e IDEAM.

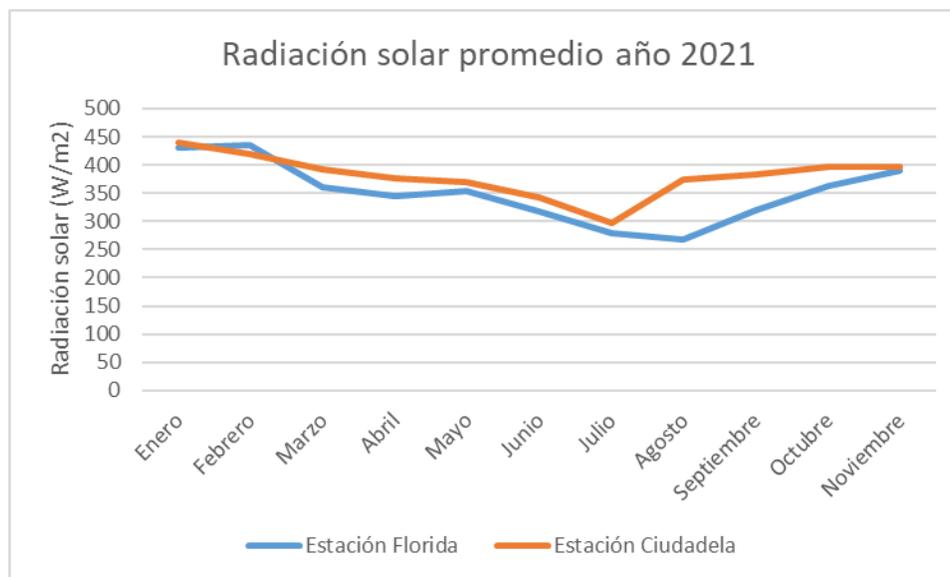
- **Radiación solar**

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. (IDEAM, 2021). Este es un parámetro muy importante en la calidad del aire ya que propicia reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles para dar lugar a la formación de contaminantes secundarios como el ozono troposférico.

Los municipios del área metropolitana de Bucaramanga se encuentran ubicado en la zona intertropical, por lo cual reciben mayor insolación por unidad de superficie. De igual forma, es importante conocer que las cuencas con orientación N-S, no reciben insolación uniforme en las dos vertientes durante todo el día; en cambio, las cuencas con orientación E-W reciben insolación en las dos vertientes durante todo el día, lo cual es factor determinante en el comportamiento de otras variables como la evaporación.

A continuación, se presentan los niveles promedios mensuales de radiación solar registrados en las estaciones Florida y Ciudadela durante el año 2021, exceptuando el mes de diciembre para el cual no se cuenta con datos.

Figura 52 Radiación solar promedio año 2021



Fuente: Autor a partir de información estaciones CDMB.

4.3.3. CALIDAD DEL AIRE (COMPORTAMIENTO Y TENDENCIAS)

La calidad del aire es el resultado de la interacción de las dinámicas sociales rurales y urbanas, de las emisiones provenientes de actividades vinculadas a la industria, la minería, la agricultura y al transporte; así como de las tecnologías utilizadas, las condiciones geomorfológicas, orográficas y climatológicas, el consumo y tipo de combustibles, entre otros aspectos. Todo ello, influye notablemente en los procesos de dilución, concentración y transporte, que varían la composición y concentración de los contaminantes en el aire.

A partir de los lineamientos contemplados en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, en el país se han venido implementando y operando diversas estaciones de monitoreo agrupadas en Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire -SVCA. (MADS, 2021).

La contaminación atmosférica en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga está asociada, principalmente, con las emisiones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, por lo tanto, las excedencias a la norma de calidad del aire y el índice de calidad del aire permiten asociar el riesgo en la salud poblacional por la exposición a estos contaminantes.

- **Excedencias a la norma**

Las excedencias frecuentes a la norma nacional de calidad del aire diaria y la superación de la norma anual, pueden exponer a la población tanto a efectos agudos (exposiciones de corta duración) como a efectos crónicos (exposiciones prolongadas).

Para identificar las excedencias a la norma de calidad del aire, se partió de la información obtenida del Subsistema de Información Sobre Calidad del Aire - SISAIRE reportada por la red de monitoreo de calidad del aire que cuenta con información de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga.

Es preciso resaltar que para este análisis se tuvieron en cuenta las series que tienen al menos un 75% de la cantidad de datos anuales para validar la representatividad temporal de la misma (ver Tabla 27). Para el análisis más detallado, de los meses en los que se presentaron las excedencias, se tuvo en cuenta que se contará con al menos el 75% de datos mensuales para el caso del PM₁₀ y PM_{2.5}.

Tabla 27 Porcentaje de datos válidos de PM₁₀ y PM_{2.5} por estación

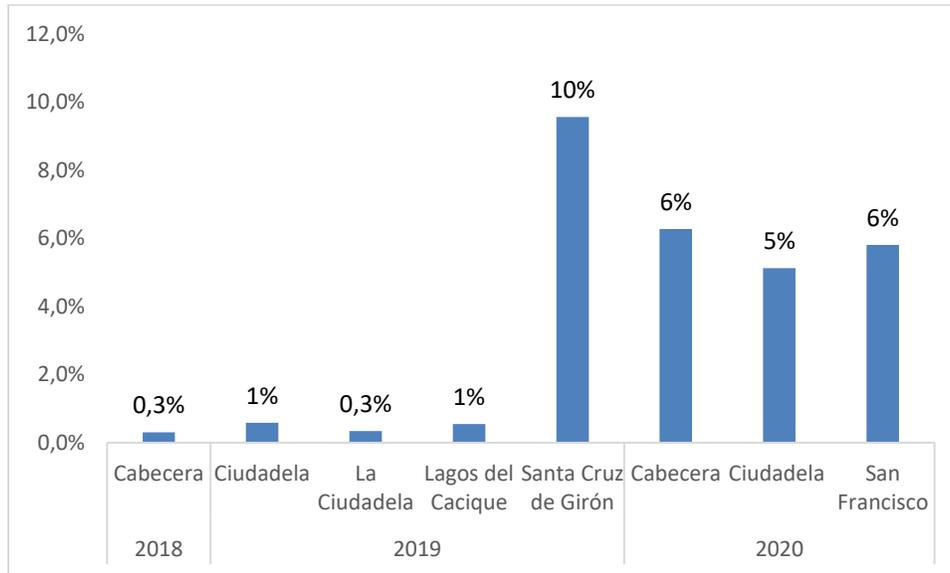
Contaminante	Estación	Año			
		2018	2019	2020	2021
PM ₁₀	Cabecera	91%	44%	79%	65%
	Ciudadela	90%	93%	85%	72%
	La Ciudadela	25%	79%	54%	0%
	Lagos I F/Blanca	24%	66%	33%	0%
	Lagos del Cacique	25%	100%	48%	0%
	San Francisco	25%	90%	88%	0%
	Santa Cruz de Girón	25%	95%	55%	0%
PM _{2.5}	La Ciudadela	25%	87%	54%	0%
	Lagos I F/Blanca	24%	100%	33%	0%
	Lagos del Cacique	25%	100%	62%	0%
	San Francisco	25%	90%	88%	0%
	Santa Cruz de Girón	25%	95%	71%	0%
Ozono	Estación Cabecera	35%	0%	0%	0%
	Estación Ciudadela	32%	0%	0%	0%
	Estación Florida	91%	83%	44%	84%
	Estación La Ciudadela	23%	92%	53%	0%
	Estación Lagos I F/Blanca	24%	62%	32%	0%
NO ₂	La Ciudadela	22%	60%	72%	0%
	Lagos I F/Blanca	17%	67%	33%	0%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Material particulado menor a 10 micrómetros (PM₁₀)

De acuerdo con la Resolución 2254 de 2017, el nivel máximo permisible de PM₁₀ en el aire anual es de 50 µg/m³ y en 24 horas es de 75 µg/m³. Las estaciones que han presentado excedencias a la norma diaria de calidad del aire son presentadas en la Figura 53.

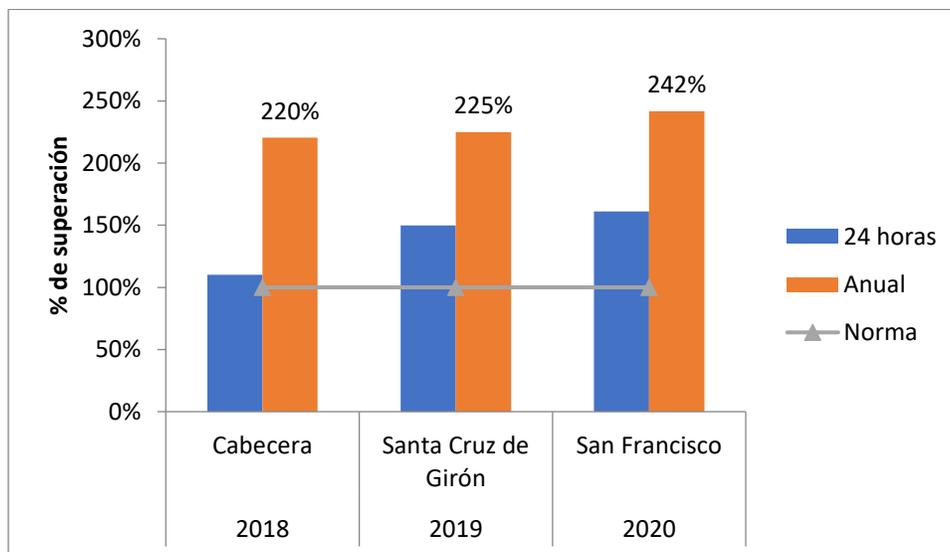
Figura 53 Porcentaje de excedencias de las concentraciones de material particulado menor a 10 µm (PM₁₀) en el aire por año



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Al examinar la concentración máxima de PM₁₀ por año (Figura 54) en comparación con los estándares de calidad del aire (representados por el 100%), se observa que esos valores son superados más del doble para el caso de la norma anual en las tres estaciones y, en un 50% respecto a la norma diaria, en la estación Santa Cruz de Girón y San Francisco.

Figura 54 Concentración máxima de PM₁₀, registrada en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, respecto a la norma colombiana de calidad del aire (2018-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

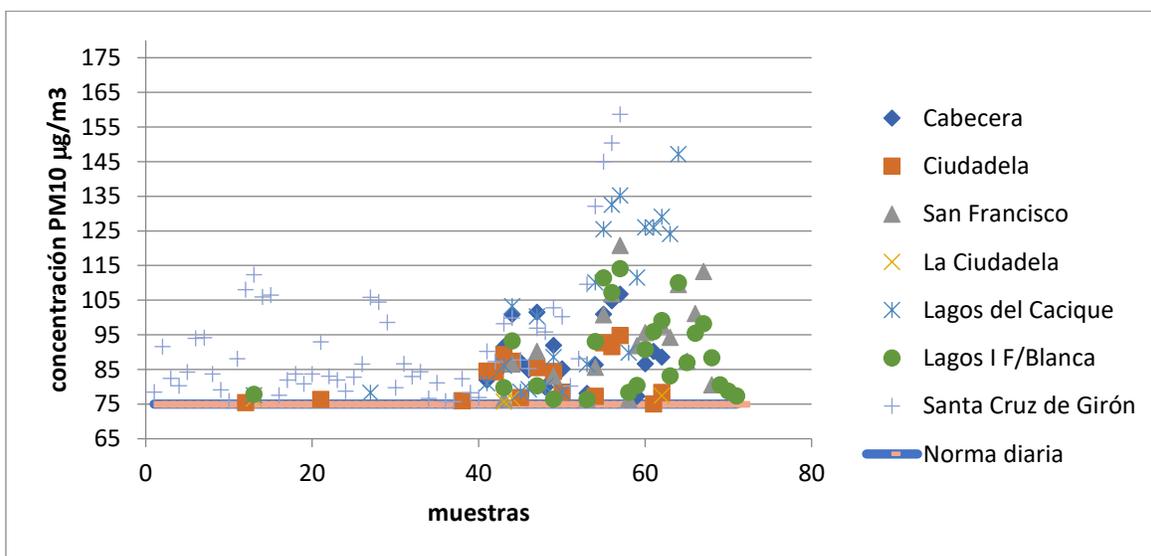
Es importante señalar que para el año 2018, estaban midiendo PM₁₀ las estaciones Cabece-
ra y Ciudadela, y solamente presentó 1 excedencia la estación Ciudadela el 8 de marzo. Para el

año 2019 y 2020 se presentaron las excedencias que se observan en la Figura 55 entre los meses de febrero y abril; y con mayor frecuencia en los meses de febrero y marzo.

Para abril de 2020, que se presentaron 3 excedencias en la estación Lagos I F.Blanca, no se tenían un mínimo de datos válidos para las otras estaciones; exceptuando Santa Cruz de Girón que si contaba con 30 datos válidos al mes.

Para el primer trimestre del año 2021 no se presentaron excedencias a la norma de calidad del aire.

Figura 55 Concentraciones de material particulado menor a 10 μm (PM_{10}) en el aire por año

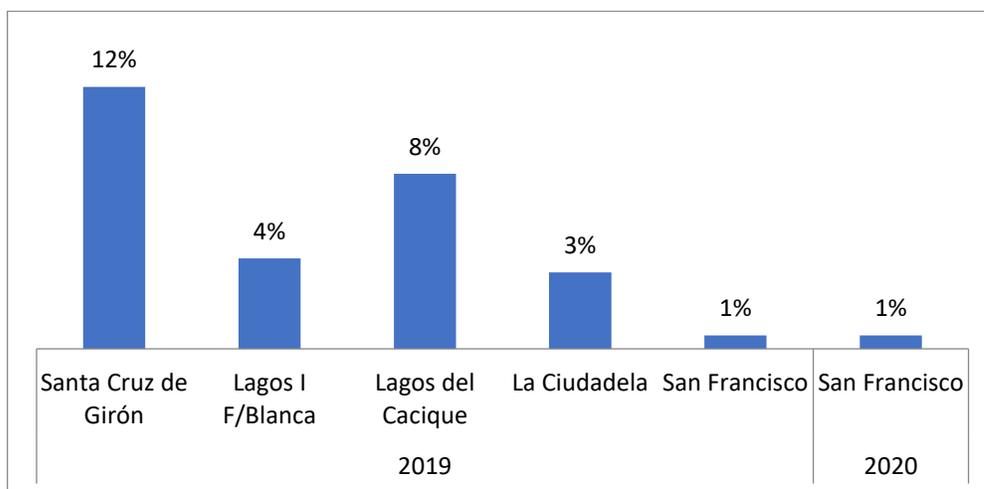


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Material particulado menor a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$)

De acuerdo con la Resolución 2254 de 2017, el nivel máximo permisible de $\text{PM}_{2.5}$ en el aire anual es de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en 24 horas es de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las estaciones que han presentado excedencias a la norma diaria de calidad del aire son presentadas en la Figura 56.

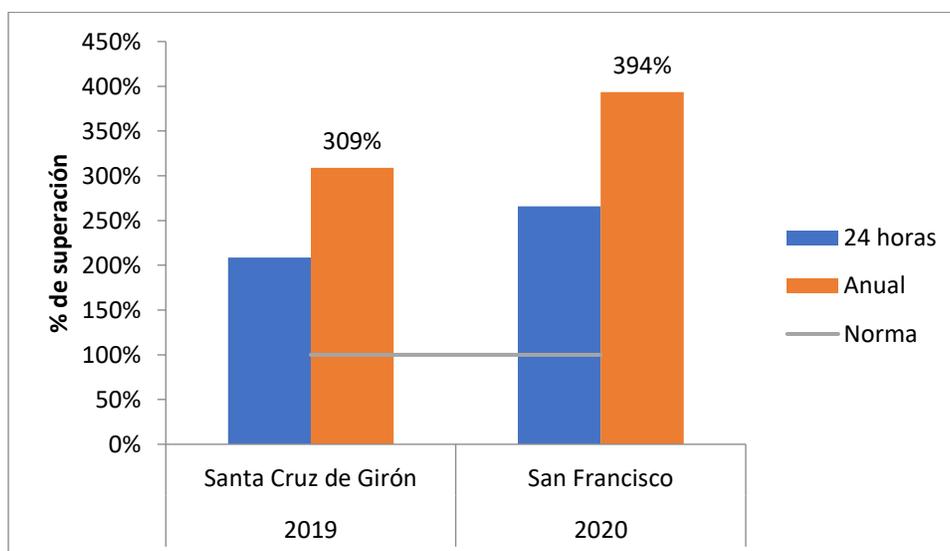
Figura 56 Porcentaje de excedencias de las concentraciones de material particulado menor a 2.5 µm (PM_{2.5}) en el aire por año



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

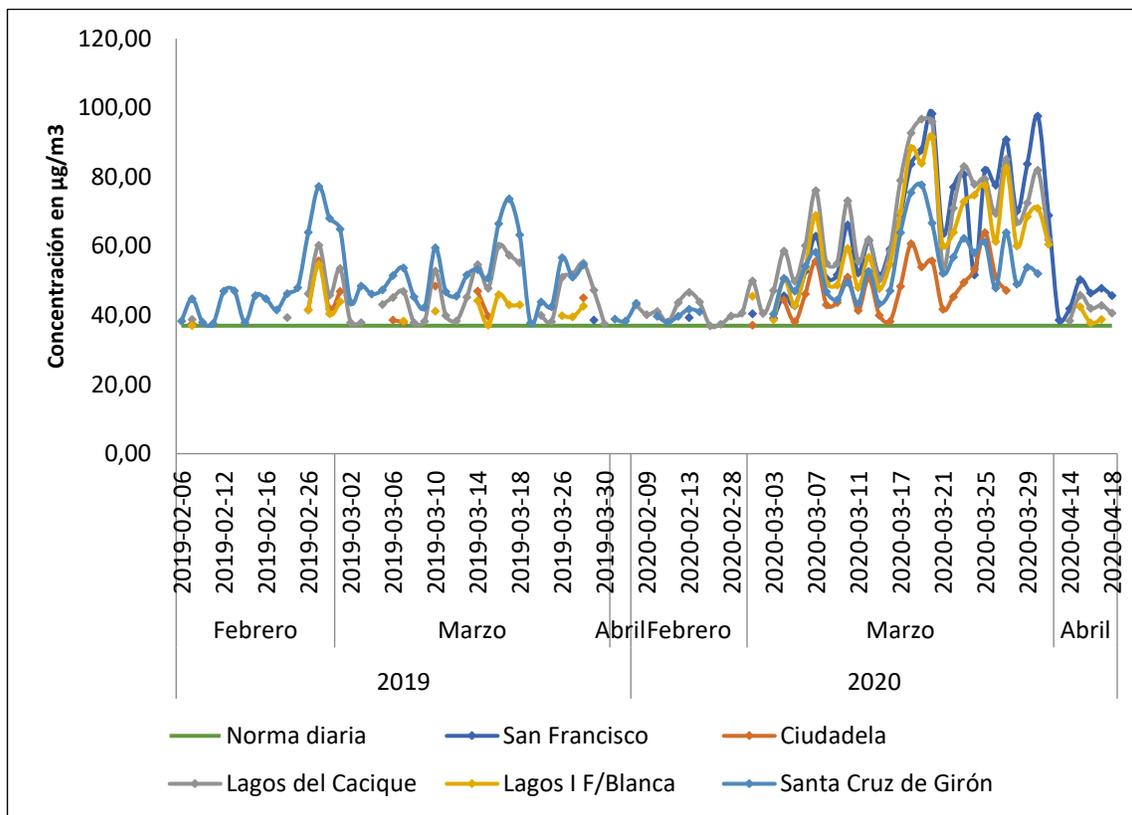
De igual manera, al examinar la concentración máxima de PM_{2.5} por año (Figura 57) en comparación con los estándares de calidad del aire (representados por el 100%), se observa que esos valores son superados más del doble para el caso de la norma diaria y, más del triple respecto a la norma anual en las estaciones Santa Cruz de Girón y San Francisco.

Figura 57 Concentración máxima de PM_{2.5} registrada en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, respecto a la norma colombiana de calidad del aire (2019-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Complementariamente, al examinar el periodo en el que se presentan las excedencias de las concentraciones de PM_{2.5} por año, se observa (Figura 58) que entre los meses de febrero y abril es donde se están presentando, y con mayor incidencia a finales de febrero y en marzo.

Figura 58 Concentraciones de material particulado menor a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) en el aire por año

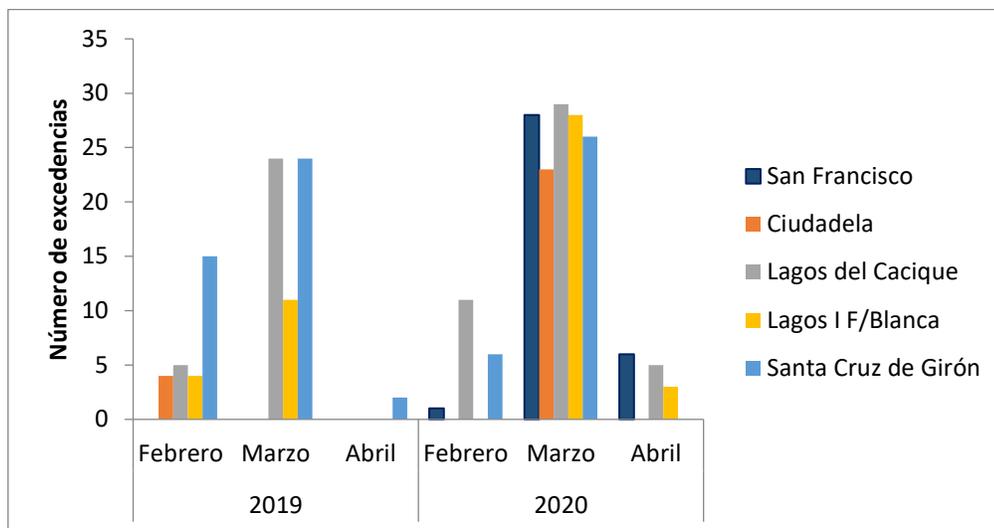
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

De manera más detallada, en la Figura 59, se aprecia que las mayores excedencias se presentan en el mes de marzo, y a pesar de que en todas las estaciones de monitoreo de la calidad del aire que miden $\text{PM}_{2.5}$ presentan excedencias a la norma, las estaciones donde más se presentaron son Santa Cruz de Girón (Girón) y Lagos del Cacique (Bucaramanga).

No obstante, es importante mencionar, que la estación San Francisco, se reportaron 18 datos en el mes de febrero y 3 datos en el mes de marzo del 2019. De igual manera, para el caso de la estación La Ciudadela reportó 15 datos en el mes de marzo de 2019 y no reportó datos en el mes de abril de 2020. Por lo tanto, gráficamente, para estas dos estaciones no se incluyeron los meses en los cuales no contaban con el 75% o más de datos válidos.

Otro factor para resaltar es que el comportamiento del $\text{PM}_{2.5}$ en el primer trimestre del año 2020, pudo estar influenciado por la cantidad significativa de incendios presentados en Colombia y en Venezuela.

Figura 59 Número de excedencias de material particulado menor a 2.5 µm (PM_{2.5}) en el aire por año



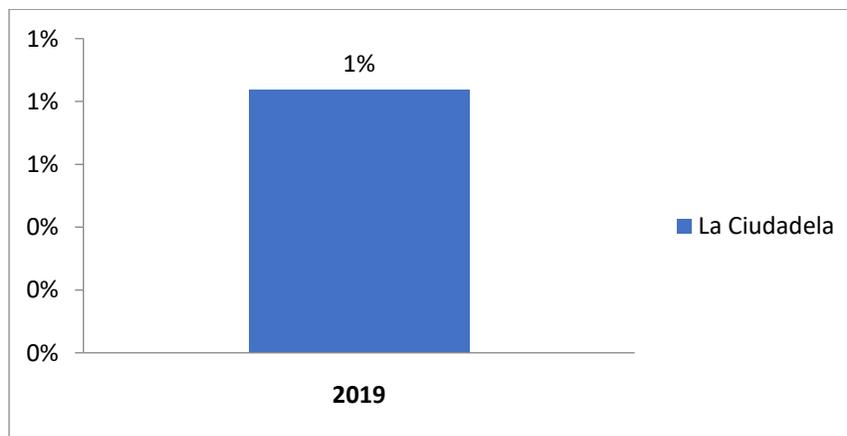
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Ozono (O₃)

De acuerdo con la Resolución 2254 de 2017, el nivel máximo permisible de O₃ en el aire octohorario es de 100 µg/m³. Para los años y estaciones que cumplían con este requerimiento, es decir estación Florida (2018, 2019 y 2021) y La Ciudadela (2019), se sacó el promedio móvil (media móvil), con base en una serie de 8 datos horarios (concentración octohoraria) para cada año y estación analizada.

Al analizar los resultados, la única estación que ha presentado excedencias a la norma octohoraria de O₃ es la estación La Ciudadela (Figura 60). Sin embargo, vale la pena señalar, que no se cuenta con información suficiente para analizar si los años siguientes se siguieron presentando excedencias en esta estación, o si en otras estaciones que miden O₃ (diferentes a la estación Florida) se han presentado también excedencias a la norma de calidad del aire.

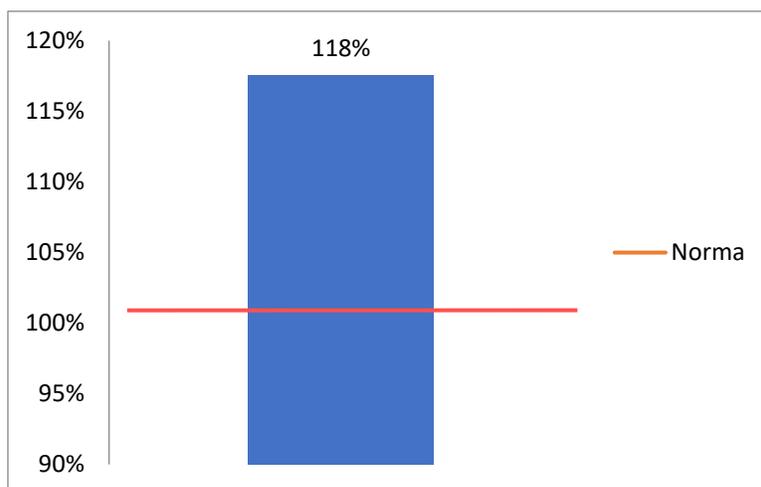
Figura 60 Porcentaje de excedencias de la concentración octohoraria de ozono troposférico (O₃) en el aire



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Al examinar la concentración máxima de O₃ por año (Figura 61) en comparación con los estándares de calidad del aire (representados por el 100%), se observa que el valor más alto del ozono octohorario se registra en la estación La Ciudadela en el año 2019, y supera en un 18% la norma de calidad del aire para este contaminante.

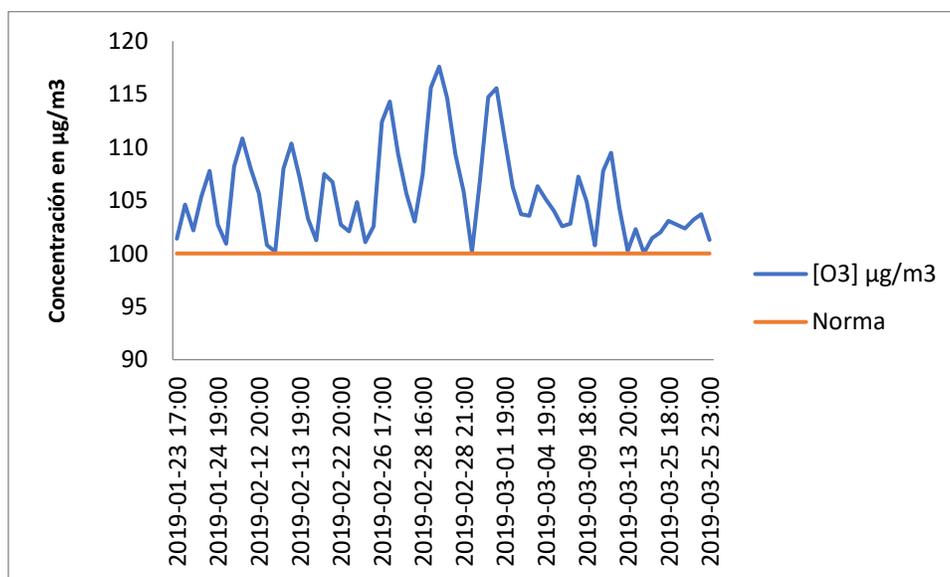
Figura 61 Concentración máxima de O₃ registrada en la estación La Ciudadela, respecto a la norma colombiana de calidad del aire (2019)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Con más detalle, al examinar el periodo en el que se presentan las excedencias de las concentraciones de O₃ octohorario, se observa (Figura 62) que entre finales del mes de enero y marzo es donde se están presentando las excedencias.

Figura 62 Excedencias de norma octohoraria para O₃ estación La Ciudadela (Limite 100 µg/m³ 8 h)



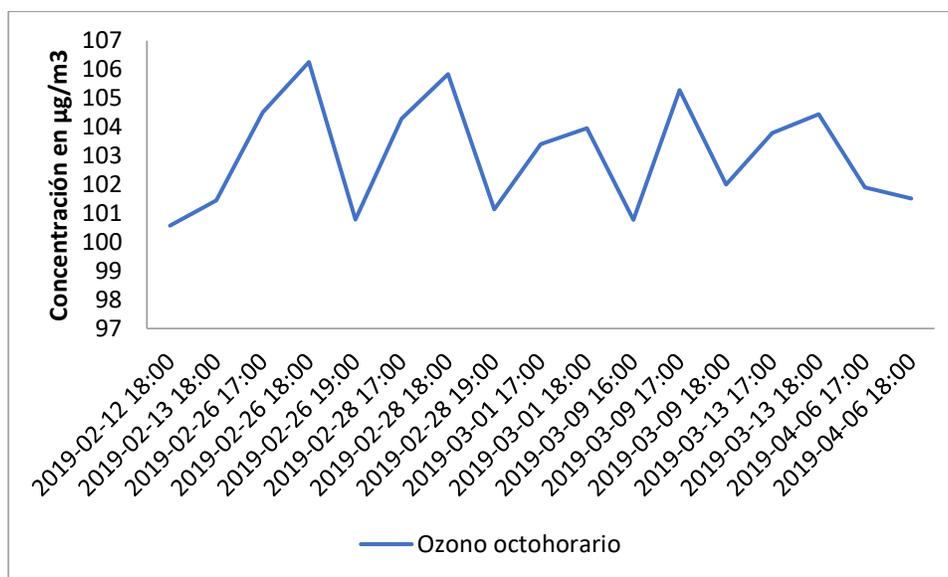
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Debido a que se cuenta con pocos datos para hacer un análisis más riguroso de las excedencias en las estaciones que miden este contaminante, se revisó, solo para mirar la tendencia

en los periodos, si en otras estaciones y años se presentaban excedencias a la norma de calidad del aire, aunque no se tuvieran el 75% de datos válidos, pero si 75% de datos octohorarios.

De tal manera, se obtuvo que la estación Florida obtuvo 2 excedencias a la norma octohoraria el 5 de marzo de 2020, y la estación Lagos I. Floridablanca se presentaron 17 excedencias (ver Figura 63) en los meses de febrero, marzo y abril, y con mayor frecuencia en los meses febrero y marzo.

Figura 63 Excedencias de norma octohoraria para O₃ estación Floridablanca (Limite 100 µg/m³ 8 h)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Para el caso del Dióxido de nitrógeno (NO₂) no se cuenta con un 75% o más de datos válidos en las diferentes estaciones que permitan revisar las excedencias o % superación de la norma de calidad del aire. Sin embargo, en la estación Ciudadela que para el año 2020 se tienen el 72% de datos válidos no se presentaron excedencias a la norma horaria o anual.

- **Análisis ICA y su relación con los niveles de prevención**

Para determinar el Índice de Calidad del Aire - ICA, se partió de la información obtenida del Subsistema de Información Sobre Calidad del Aire - SISAIRE reportada por la red de monitoreo de calidad del aire que cuenta con información de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga y se realizó el análisis con base en indicador señalado en la Resolución 2254 de 2017 en el artículo 19 y 20 que describen el rango, el color, el estado de la calidad del aire, los efectos en la salud de la población y los puntos de corte del indicador.

El Índice de calidad del aire (ICA) permite comparar los niveles de contaminación del aire de las estaciones de monitoreo que conforman un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (Unidades espaciales de referencia), en un tiempo t, que corresponde al período de exposición previsto en la norma para cada uno de los contaminantes que se está midiendo.

El Índice se calcula de forma independiente para cada uno de los siguientes contaminantes: Material particulado de tamaño inferior a 10 micras -PM10, Material particulado de tamaño inferior a 2,5 micras -PM2,5, Dióxido de azufre -SO2, Dióxido de nitrógeno -NO2, Ozono -O3 y Monóxido de carbono -CO. Se puede priorizar el cálculo del ICA para los contaminantes con mayor impacto en la salud humana y con mayor número de excedencias (número de registros por encima del valor máximo permisible por la norma). Para PM10, PM2,5 y SO2, el tiempo de exposición es 24 horas, NO2 el tiempo de exposición es de 1 hora, para O3 es de 8 horas y 1 hora y para CO es de 8 horas.

Material particulado menor a 10 micrómetros (PM10)

El índice de calidad del aire por PM10, la mayor parte de los años (2018-2021) presenta días con calidad del aire "buena" en las diferentes estaciones (Cabecera, Ciudadela, La Ciudadela, Lagos I Floridablanca, Lagos del Cacique, San Francisco y Santa Cruz de Girón), y en menor medida se presentan unos días con calidad del aire "aceptable" representando, esta última, posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles (ver Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68,

Figura 69 y
Figura 70).

Figura 64 Índice de calidad del aire por PM10 en la estación Cabecera, años 2018-2021



Figura 65 Índice de calidad del aire por PM10 en la estación Ciudadela, años 2018-2021



Figura 66 Índice de calidad del aire por PM₁₀ en la estación La Ciudadela, años 2018-2020

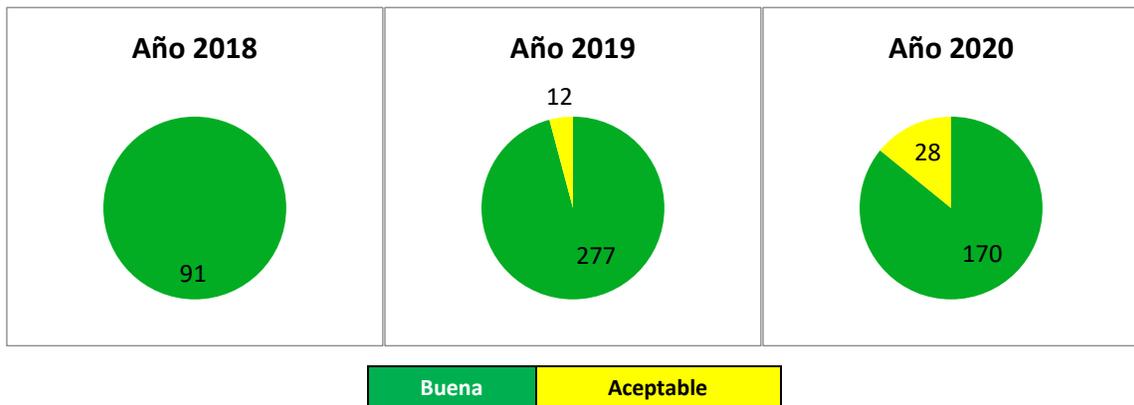


Figura 67 Índice de calidad del aire por PM₁₀ en la estación Lagos I Floridablanca, años 2018-2020

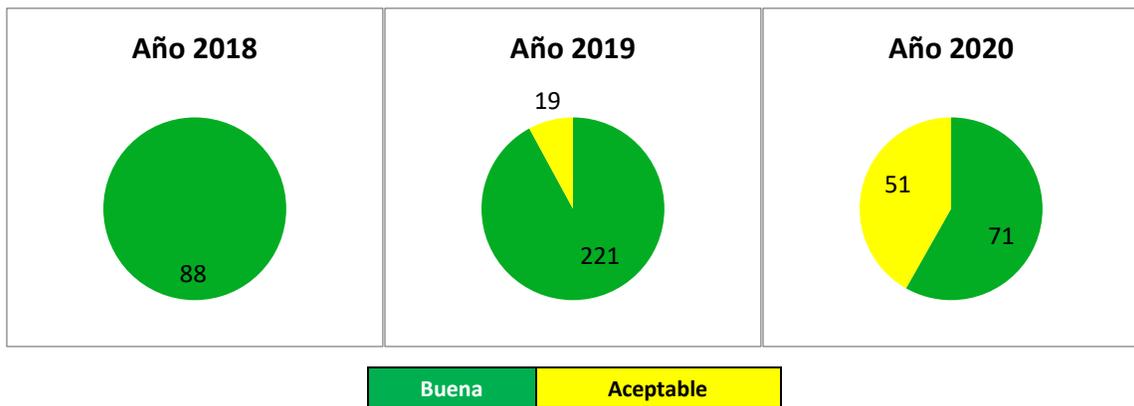


Figura 68 Índice de calidad del aire por PM₁₀ en la estación Lagos del Cacique, años 2018-2020



Figura 69 Índice de calidad del aire por PM₁₀ en la estación San Francisco, años 2018-2020



Figura 70 Índice de calidad del aire por PM₁₀ en la estación Santa Cruz de Girón, años 2018-2020



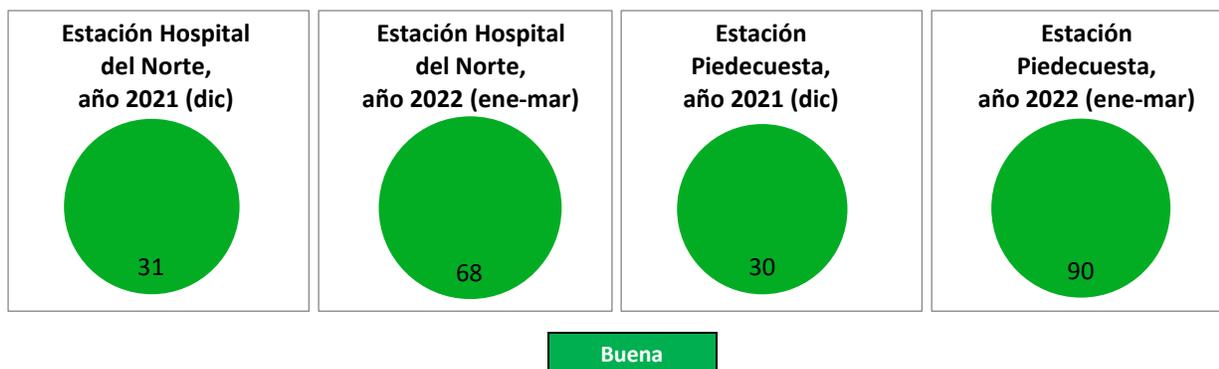
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Adicionalmente, es importante resaltar que la CDMB en el año 2021 instaló y puso en funcionamiento 4 nuevas estaciones de calidad del aire: 3 en Bucaramanga (Club Unión, Colegio Gaitán y Hospital del Norte) y 1 en el municipio de Piedecuesta (Centro Cultural Daniel Mantilla Orbegozo). Estas estaciones empezaron a reportar datos en SISAIRE desde diciembre del año 2021, por lo tanto, se presenta el ICA para el mes de diciembre del año 2021 y para los meses de enero y marzo del año 2022 (para los cuales se tiene datos a la fecha). Se puede observar en las Figura 71 y Figura 72, que las nuevas estaciones están presentando todos los días calidad del aire "buena", lo que supone, durante los días analizados, un bajo riesgo para la salud relacionado con este contaminante.

Figura 71 Índice de calidad del aire por PM₁₀ en la estación Club Unión y Colegio Gaitán, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)



Figura 72 Índice de calidad del aire por PM₁₀ en la estación Hospital del Norte y Centro Cultural Daniel Mantilla Orbegozo - Piedecuesta, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Material particulado menor a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})

Respecto al $PM_{2.5}$, la mayor parte de los años (2018-2021) presentan días con calidad del aire “buena” y “aceptable” en las diferentes estaciones (La Ciudadela, San Francisco, Lagos del Cacique, Lagos I Floridablanca y Santa Cruz de Girón). Sin embargo, es importante mencionar que para el año 2018 sólo se tienen mediciones desde el mes de octubre.

Para los años 2019 y 2020 que se cuenta con más datos, se presentan días con calidad del aire “dañina a la salud de grupos sensibles” y “dañina a la salud”, siendo más notable este comportamiento para el año 2020, lo cual representa efectos en la salud de la población y efectos más graves para grupos sensibles (ver Figura 73, Figura 74, Figura 75,

Figura 76 y Figura 77).

Vale la pena señalar, como se había mencionado anteriormente, que el comportamiento del $PM_{2.5}$ en el primer trimestre del año 2020, pudo estar influenciado por la cantidad significativa de incendios presentados en Colombia y en Venezuela.

Figura 73 Índice de calidad del aire por $PM_{2.5}$ en la estación La Ciudadela, años 2018-2020

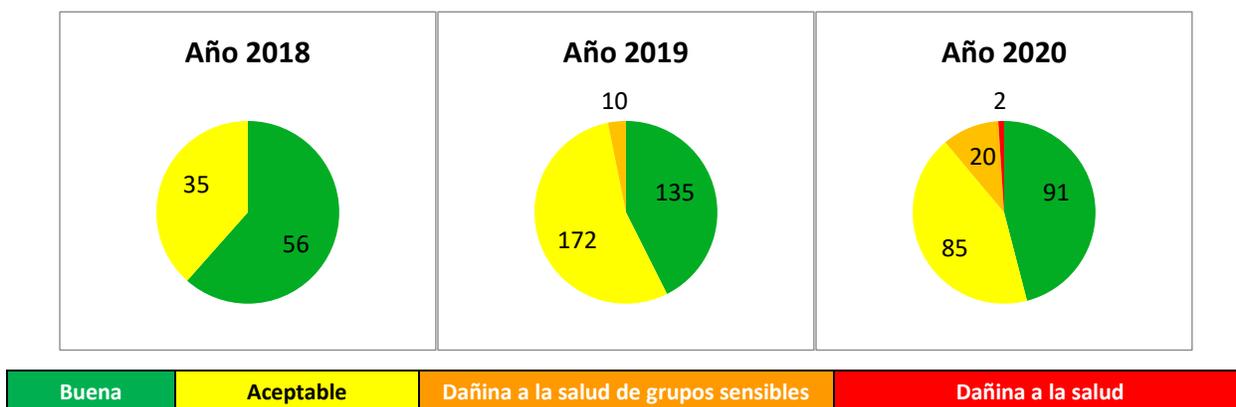


Figura 74 Índice de calidad del aire por $PM_{2.5}$ en la estación San Francisco, años 2018-2020

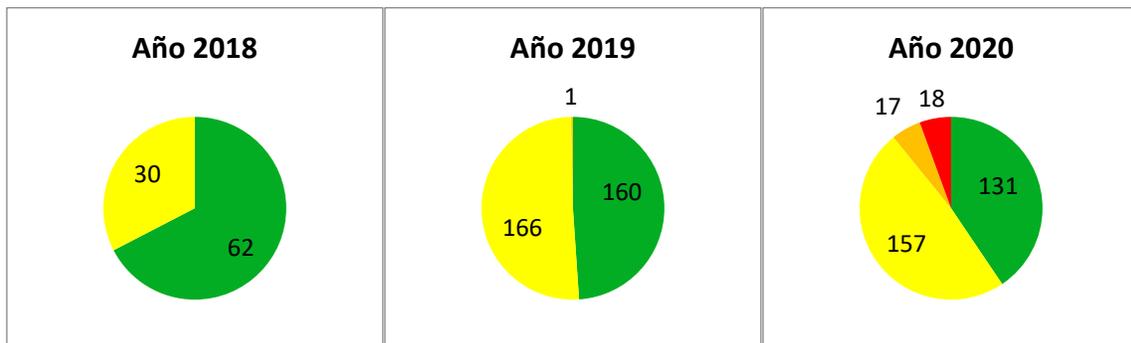


Figura 75 Índice de calidad del aire por PM_{2.5} en la estación Lagos del Cacique, años 2018-2020

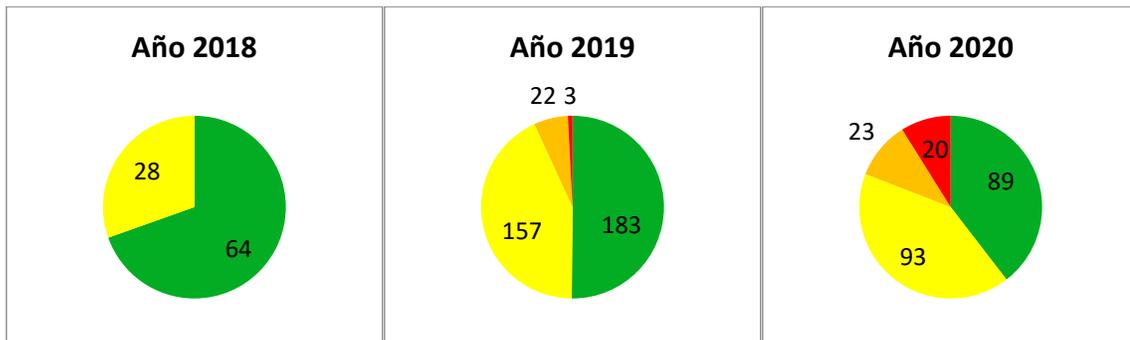


Figura 76 Índice de calidad del aire por PM_{2.5} en la estación Lagos I Floridablanca, años 2018-2020

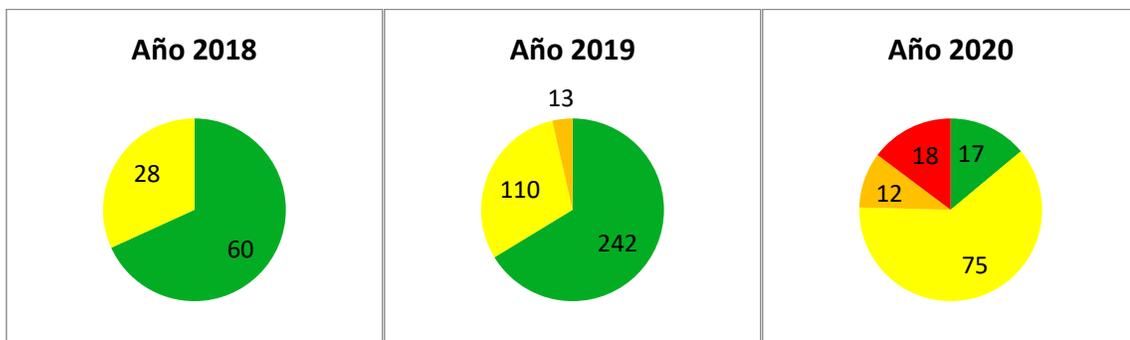
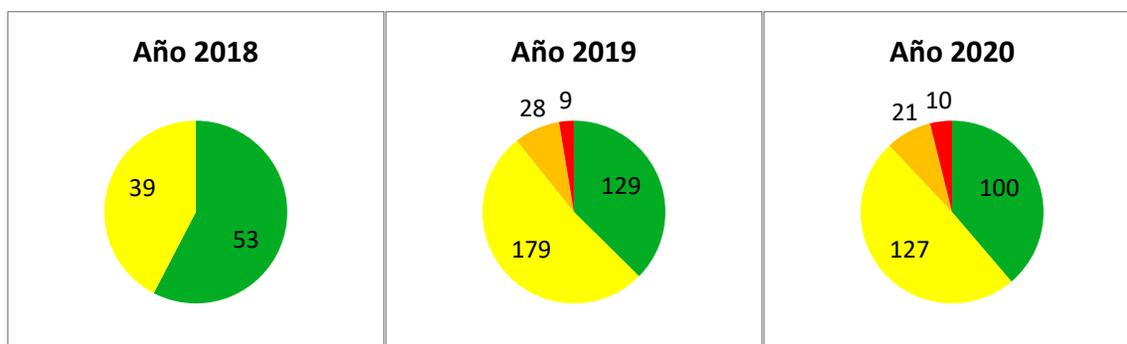


Figura 77 Índice de calidad del aire por PM_{2.5} en la estación Santa Cruz de Girón, años 2018-2020



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Complementariamente, al analizar el PM_{2.5} en las nuevas estaciones se observa (Figura 78 y Figura 79) que la calidad del aire en la mayoría de los días de diciembre se presenta “buena”, sin embargo, el primer trimestre del año 2022, 3 de las 4 estaciones (Club Unión, Colegio Gaitán y Piedecuesta) presentan la mayoría de los días calidad del aire “aceptable”, es decir, que puede generar síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.

Figura 78 Índice de calidad del aire por PM_{2.5} en la estación Club Unión y Colegio Gaitán, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)

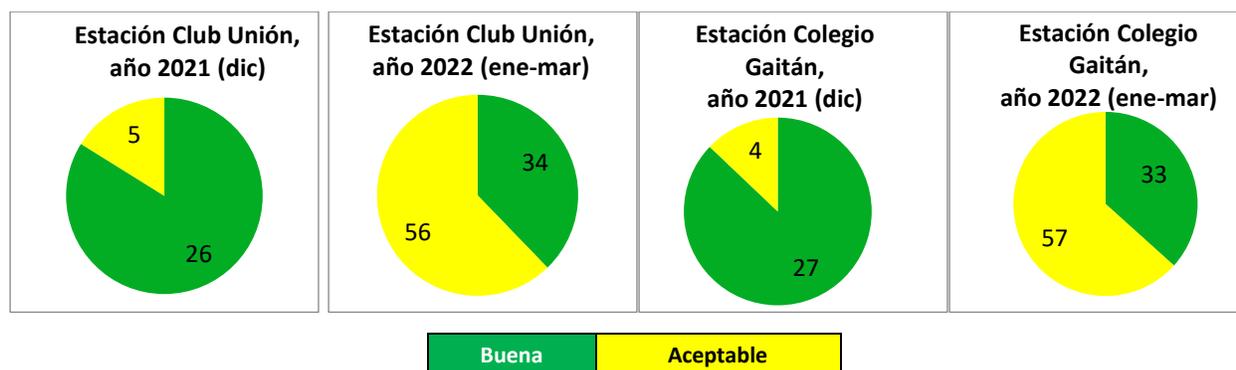
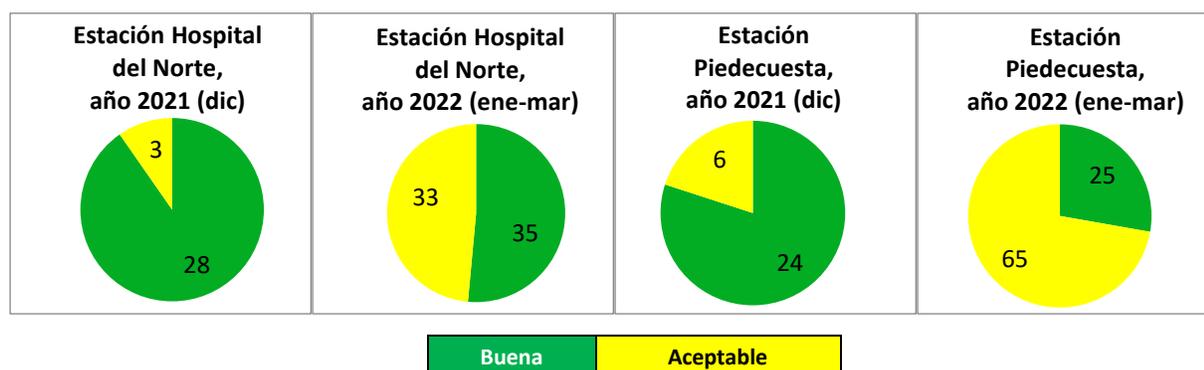


Figura 79 Índice de calidad del aire por PM_{2.5} en la estación Hospital del Norte y Centro Cultural Daniel Mantilla Orbeagozo - Piedecuesta, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Ozono (O₃)

En cuanto al O₃, octohorario, este fue estimado a partir del promedio móvil (media móvil), con base en una serie de 8 datos horarios (concentración octohoraria) para cada año y estación analizada. Los resultados muestran que todos los años se presenta una calidad del aire “buena” (exceptuando 0,3% de los datos del año 2019 de la estación La Ciudadela), por lo tanto, a partir de los datos que se tienen de las estaciones La Ciudadela, Lagos I Floridablanca y Florida (Figura 80, Figura 81 y Figura 82), se supone un bajo riesgo para la salud relacionado con este contaminante.

Figura 80 Índice de calidad del aire por O₃ octohorario en la estación La Ciudadela, años 2018-2020



Figura 81 Índice de calidad del aire por O₃ octohorario en la estación Lagos I Floridablanca, años 2018-2020



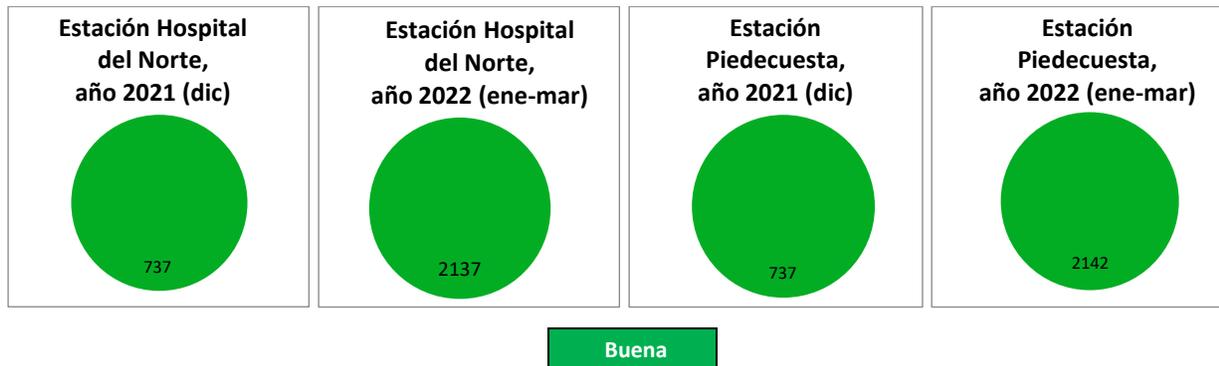
Figura 82 Índice de calidad del aire por O₃ octohorario en la estación Florida, años 2018-2021



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

De igual manera, al analizar el ICA en las nuevas estaciones que miden este contaminante (Hospital del Norte y Piedecuesta) (Figura 83) se observa también una calidad del aire “buena” durante todo el periodo analizado.

Figura 83 Índice de calidad del aire por O₃ en la estación Hospital del Norte y Centro Cultural Daniel Mantilla Orbeagoz - Piedecuesta, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)



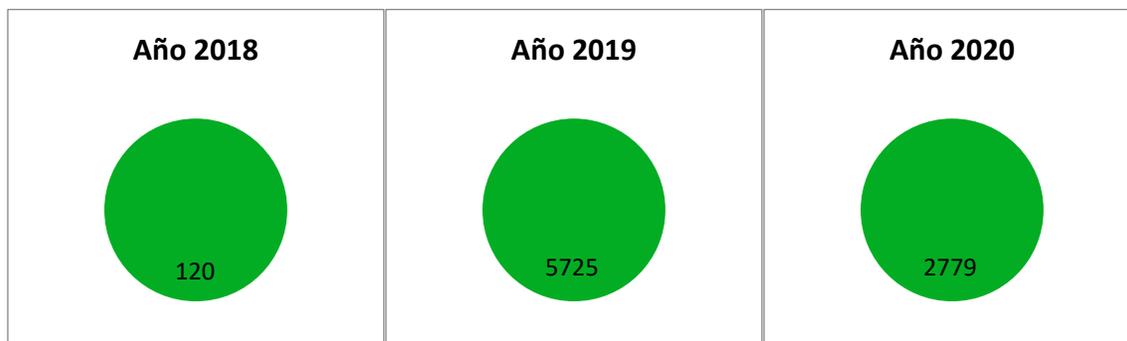
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Para el ICA O₃ horario, en ninguna estación se supera el valor de 245(µg/m³) 1 hora, que es el punto de partida del ICA “dañina a la salud de grupos sensibles”.

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

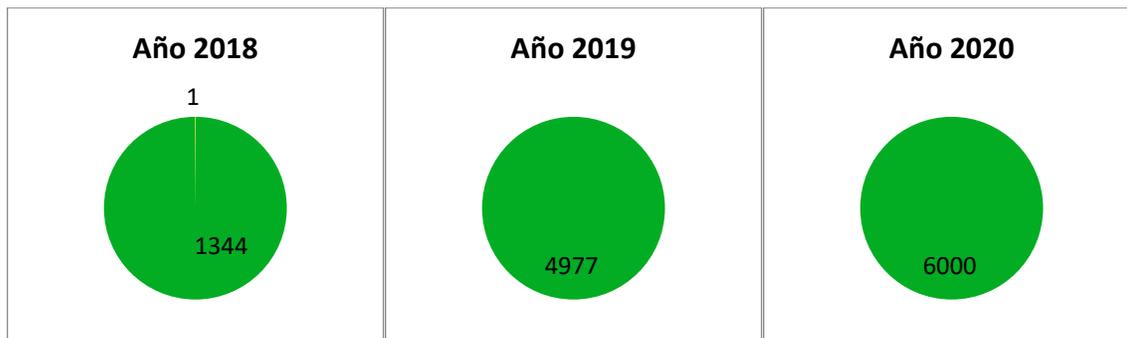
En relación al NO₂, en el periodo de análisis se presenta una calidad del aire “buena” en las estaciones Lagos I Floridablanca y La Ciudadela generando un bajo riesgo para la salud relacionado con este contaminante (Figura 84 y Figura 85).

Figura 84 Índice de calidad del aire por NO₂ horario en la estación Lagos I Floridablanca, años 2018-2020



Buena

Figura 85 Índice de calidad del aire por NO₂ horario en la estación La Ciudadela, años 2018-2020



Buena

Al analizar el ICA por NO₂ en la estación Club Unión que está midiendo este contaminante (Figura 86), se observa también una calidad del aire “buena” durante todo el periodo analizado.

Figura 86 Índice de calidad del aire por NO₂ horario en la estación Club Unión, años 2021 (dic) – 2022 (ene-feb)



Buena

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

De los contaminantes **CO** y **SO₂** no se cuenta con datos en los últimos 5 años, para realizar los respectivos análisis del índice de calidad del aire. No obstante, es preciso señalar que en las nuevas estaciones Club Unión y Piedecuesta ya se están realizando mediciones de estos contaminantes, y al realizar el análisis de la ICA con los datos que se tienen hasta el 31 de marzo, arrojó una calidad del aire “buena” para ambos contaminantes, lo cual supone un riesgo bajo para la salud de la población.

Con estos resultados y partiendo de los datos que se tiene de las estaciones y los periodos de medición, se identifica la necesidad de enfocar la gestión de episodios críticos de contaminación atmosférica, en los contaminantes PM_{2,5} y PM₁₀.

- **Olores Ofensivos**

Según el anexo 1 de la resolución 1541 de 2013, el olor ofensivo es el olor generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce fastidio, aunque no

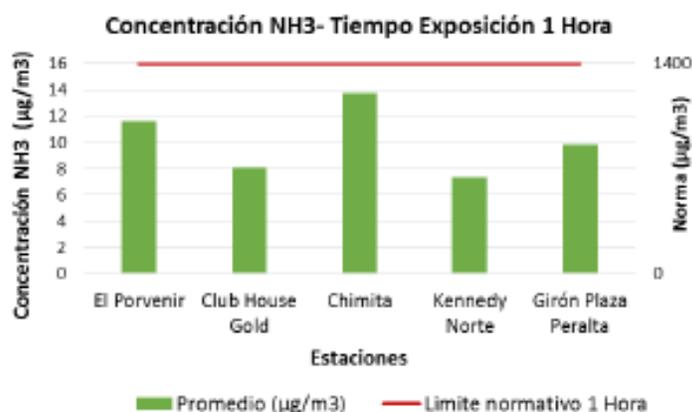
cause daño a la salud humana. La percepción de estos olores es subjetiva y por esta razón lo que parece un olor ofensivo para una persona, no lo es para otra. La OMS define cuatro características para los olores: la intensidad, entendida como la fuerza de la sensación percibida; la calidad, que es el carácter diferenciador de un olor, lo que permite identificarlo; la aceptabilidad, como el grado de gusto o disgusto de un olor; el umbral del olor, como la concentración mínima de un estímulo odorífero capaz de provocar una respuesta.

Para Bucaramanga y su área metropolitana, el problema de olores ofensivos es quizás de los más importantes en la actualidad, debido a la inmediatez de las molestias que puede generar sobre la población y la latencia de estos, generalmente asociado a las actividades productivas de procesamiento de subproductos cárnicos, huesos, plumas para la producción de concentrados.

En el Informe de Consolidación de quejas por olores ofensivos en el área metropolitana de Bucaramanga, la CDMB encontró que la mayoría de las quejas presentadas manifiestan que las empresas Harinagro S.A., Avidesa Mac Pollo S.A., Sebosander S.A.S. y Sandesol S.A., generan y emiten fuertes olores ofensivos que se desprenden de los procesos industriales que se realizan en cada una de ellas, afectando así el derecho fundamental a un ambiente sano, salud, descanso etc., descrito en el PRIO y artículo 79 de la Constitución Política. En esta entidad, se registraron 45 quejas entre los años 2013 y 2020, localizadas en casi la totalidad de extensión del área metropolitana de Bucaramanga, sin embargo, la mayor cantidad de estas quejas se registró en el norte de Bucaramanga con 28 registros.

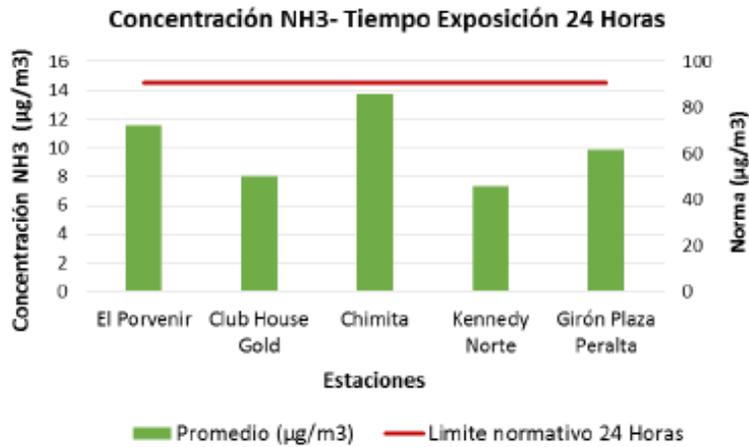
Para dar respuesta a esta problemática y en el proceso del diseño del sistema de monitoreo de olores ofensivos de la CDMB, se tomaron los resultados del estudio previo realizado por Corola en el 2018 donde se realizó monitoreo de olores ofensivos por contaminantes como amoníaco y sulfuro de hidrógeno, los cuales son presentados a continuación:

Figura 87 Concentraciones promedio hora NH_3 vs norma horaria



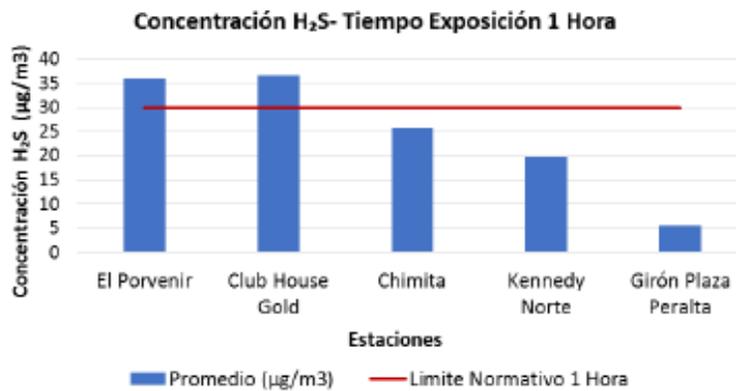
Fuente: CDMB y K2 Ingeniería, 2021.

Figura 88 Concentraciones promedio 24 horas NH₃ vs norma diaria



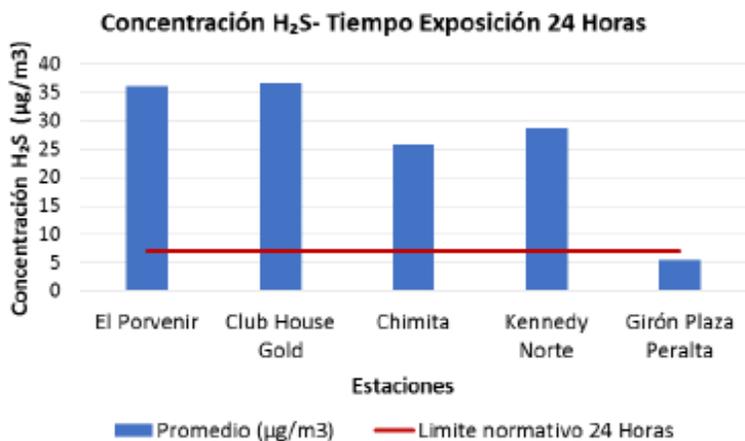
Fuente: CDMB y K2 Ingeniería, 2021.

Figura 89 Concentraciones promedio hora H₂S vs norma horaria



Fuente: CDMB y K2 Ingeniería, 2021.

Figura 90 Concentraciones promedio 24 horas H₂S vs norma diaria



Fuente: CDMB y K2 Ingeniería, 2021.

Se observa que en su mayoría el compuesto H₂S sobrepasa los valores normativos, tanto horario como diario en los puntos monitoreados (El Porvenir, Club House Gold, Chimita, Kennedy Norte y Girón Plaza Peralta). Para el NH₃ no se superó la norma diaria ni horaria.

Actualmente, el Sistema de Alertas Tempranas de Olores Ofensivos (SAT) de la CDMB está compuesto por 7 microestaciones tipo MetPole con los cuales se hace seguimiento y control a las industrias ubicadas en la vía Palenque – Café Madrid (Barrio Santander, Barrio Nariño, Barrio La Joya, Barrio San Ignacio, Centro de Abastos y Empresas), que es una de las zonas donde más se reportan quejas por olores ofensivos. A partir de la instalación del sistema de alertas tempranas para olores en 7 microestaciones, se han podido realizar mediciones de azufre total reducido y sulfuro de hidrógeno. Estas mediciones son herramienta clave para determinar los episodios en los que se presente excedencia en la norma de olores ofensivos y se convierte en insumo importante para la gestión por parte de la Autoridad Ambiental.

Figura 91 Azufre total reducido por mes Colegio Gaitán

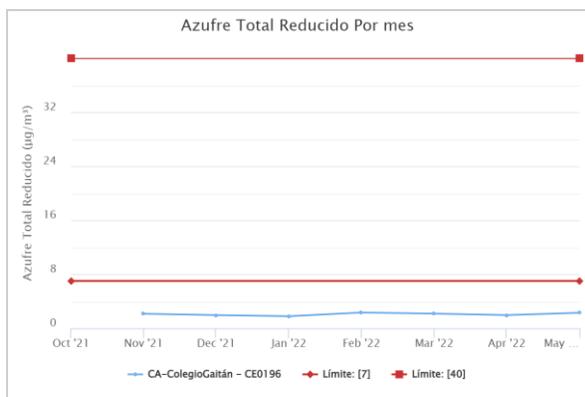
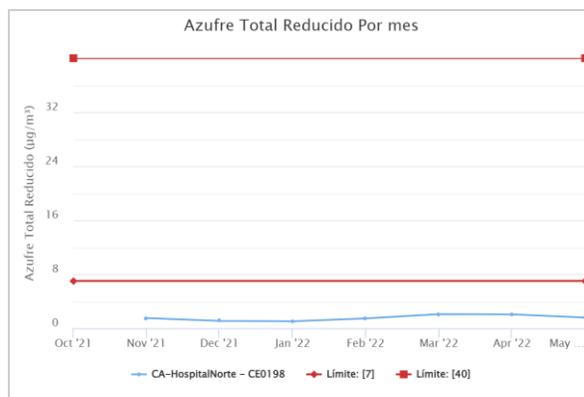


Figura 92 Azufre total reducido por mes Hospital Norte



Fuente: Plataforma AmbiensQ CDMB, 2022.

Figura 93 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación Santander

Figura 94 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación Nariño

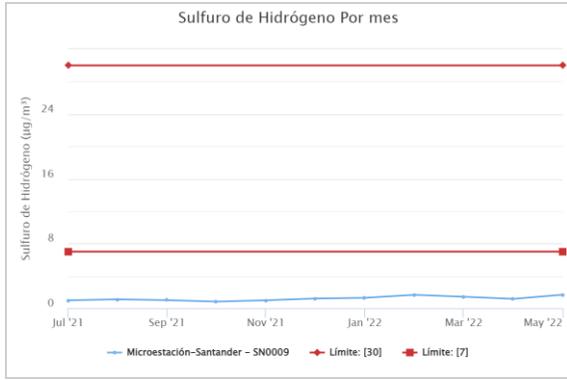


Figura 95 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación La Joya

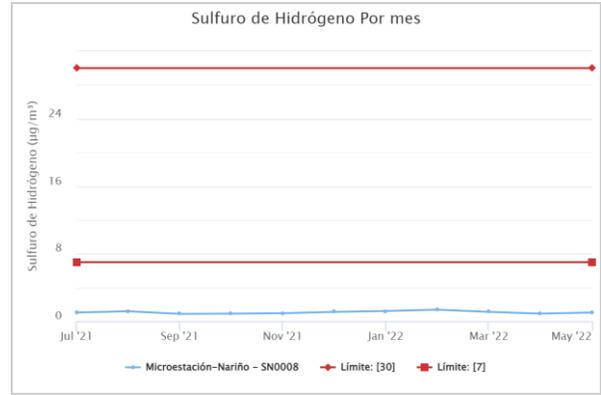


Figura 96 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación San Ignacio

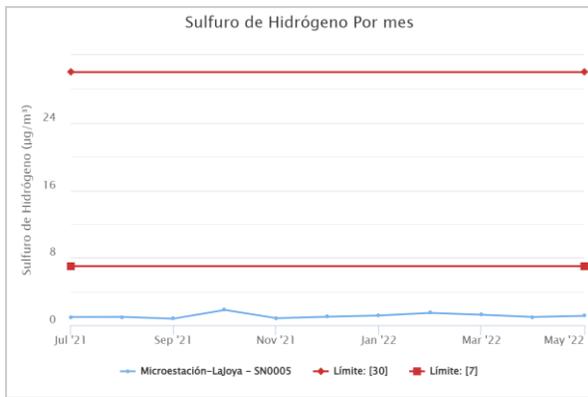


Figura 97 Sulfuro de hidrógeno por mes Empresas

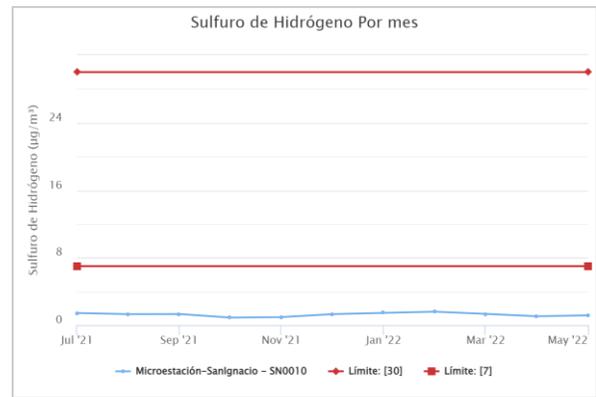


Figura 98 Sulfuro de hidrógeno por mes Centro Abastos

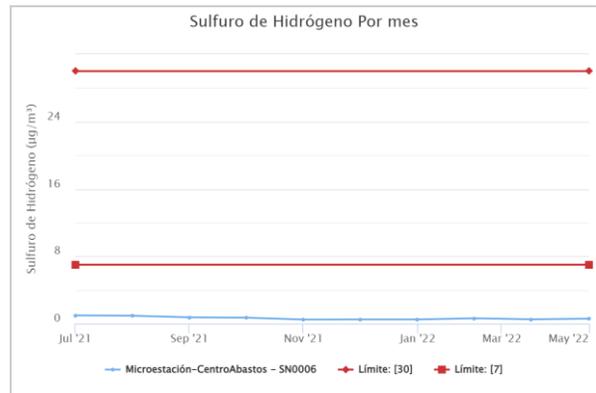
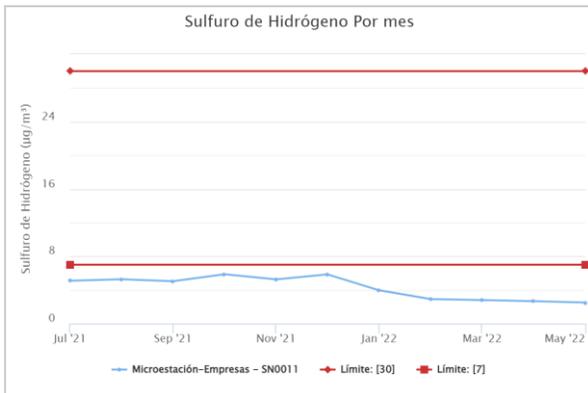
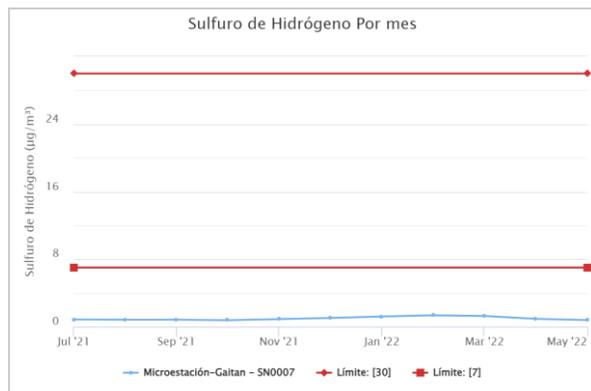


Figura 99 Sulfuro de hidrógeno por mes Microestación Gaitán



Fuente: Plataforma AmbiensQ CDMB, 2022.

4.4. CLASIFICACIÓN DE AREA FUENTE

A continuación, se presenta la metodología establecida en la normativa colombiana para la declaratoria de un área fuente de contaminación como también, los resultados obtenidos a partir de su implementación y otros lineamientos que complementan el análisis.

4.4.1. METODOLOGÍA

A través del Decreto 979 de 2006 (que modifica el Decreto 948 de 1995), se establece en el artículo 108, 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. De tal manera, determina cuatro (4) clases de áreas fuentes de contaminación:

- ✓ Clase I - Áreas de contaminación alta: aquellas en 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, se suspenderá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptarán programas de reducción de la contaminación que podrán extenderse hasta por diez (10) años.
- ✓ Clase II- Áreas de contaminación media: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede 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 (5) años.

- ✓ Clase III- Áreas de contaminación moderada: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede 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 (3) años.
- ✓ 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, excede con una frecuencia superior al diez por ciento (10%) 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.

Más adelante, el artículo 2.2.5.1.10.4 del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible (Decreto 1076 de mayo de 2015), ratifica las 4 clases de área fuente de contaminación.

Seguidamente, la Resolución 2254 de 2017 establece en el artículo 16, la metodología de cálculo para la clasificación de las clases de área fuente de contaminación del aire con 6 pasos a seguir:

- i) Definir el año calendario a evaluar.
- ii. Calcular las medias móviles (promedios corridos) de tres (3) años de concentración para cada día del año calendario en evaluación.
- iii. Contar el número de días que presentan excedencias del nivel máximo permisible anual del contaminante.
- iv. Calcular el porcentaje de excedencias de la norma anual, relacionando el número de días con excedencias con respecto al total de días de muestreo.
- v. Comparar los resultados con respecto a las clases de área fuente definidas en el Decreto número 1076 de 2015.
- vi. Determinar el tipo de área fuente.

4.4.2. RESULTADOS

Al implementar la metodología mencionada en la Resolución 2254 de 2017, a partir de los datos de calidad del aire con que cuentan los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, se obtuvieron los siguientes resultados:

- i. Año calendario a evaluar: Por la disponibilidad de los datos, se determinó el año 2021 como el año calendario a evaluar.
- ii. Calcular las medias móviles (promedios corridos) de tres (3) años de concentración para cada día del año calendario en evaluación:

Luego de validar la información obtenida del Subsistema de Información Sobre Calidad del Aire - SISAIRE de los contaminantes que cuentan con datos en los últimos 5 años (2017-2021) y que tienen norma anual, de acuerdo con la Resolución 2254 de 2017 (PM₁₀, PM_{2.5} y NO₂), se obtuvo que solamente la estación Ciudadela cumple a 2021¹ con 4 años de datos válidos a partir de los cuales se puede realizar la clasificación del área fuente de contaminación (ver Tabla 28).

Es preciso resaltar que para este análisis las series de datos deben tener al menos un 75% de la cantidad de datos anuales para validar la representatividad temporal de la misma, por lo tanto, la cantidad de datos válidos no debe ser inferior a 274 datos (correspondientes al 75% de los 365 datos que se pueden obtener durante un año de monitoreo para equipos automáticos).

Tabla 28 Porcentaje de datos válidos por estación y por contaminante

Contaminante	Estación	Año			
		2018	2019	2020	2021
PM ₁₀	Cabecera	91%	44%	79%	65%
	Ciudadela	90%	93%	85%	72%
	La Ciudadela	25%	79%	54%	0%
	Lagos I F/Blanca	24%	66%	33%	0%
	Lagos del Cacique	25%	100%	48%	0%
	San Francisco	25%	90%	88%	0%
	Santa Cruz de Girón	25%	95%	55%	0%
PM _{2.5}	La Ciudadela	25%	87%	54%	0%
	Lagos I F/Blanca	24%	100%	33%	0%
	Lagos del Cacique	25%	100%	62%	0%
	San Francisco	25%	90%	88%	0%
	Santa Cruz de Girón	25%	95%	71%	0%
NO ₂	La Ciudadela	22%	60%	72%	0%
	Lagos I F/Blanca	17%	67%	33%	0%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM (2021).

Con los datos que se tienen de PM₁₀ de la estación Ciudadela (años 2018-2021) se calculó la media móvil (promedios corridos) de tres (3) años de concentración para cada día del año 2021 (Ver Anexo 1.1 Área fuente).

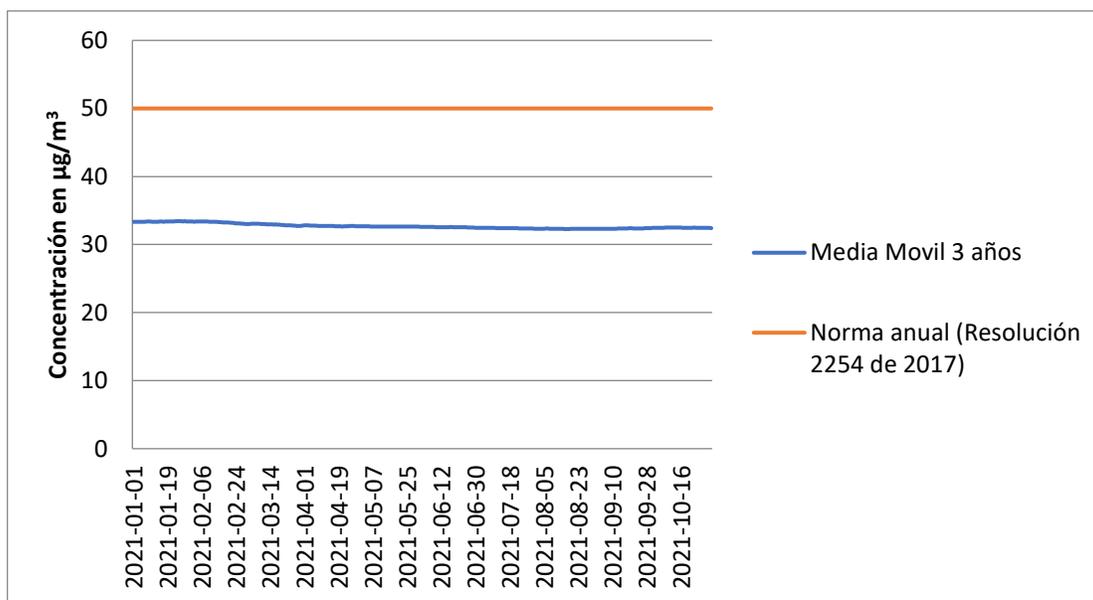
¹ Es importante señalar que la estación Ciudadela fue desmontada el 2 de noviembre de 2021, y por lo tanto, solamente se tienen datos hasta el 1 de noviembre (261 datos), representando un 72% de datos válidos anuales sobre 75% de datos válidos que se requieren, sin embargo, debido a que esta la única estación que tiene información de los últimos 4 años, el análisis de área fuente de contaminación será realizado con la información que se tiene con el fin de mirar la tendencia en el análisis de los datos.

iii. Contar el número de días que presentan excedencias del nivel máximo permisible anual del contaminante.

Los datos obtenidos de la media móvil arrojaron una distribución, aproximada, entre los 32 y 33.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (

Figura 53), por lo tanto, al ser comparados con la norma anual establecida en la Resolución 2254 de 2017, es decir, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no representan un porcentaje de excedencias del nivel máximo permisible anual de PM_{10} .

Figura 100 Media móvil PM_{10} (promedios corridos) de tres (3) años de concentración para 2021 – estación Ciudadela



Fuente elaboración propia.

iv. Calcular el porcentaje de excedencias de la norma anual, relacionando el número de días con excedencias con respecto al total de días de muestreo.

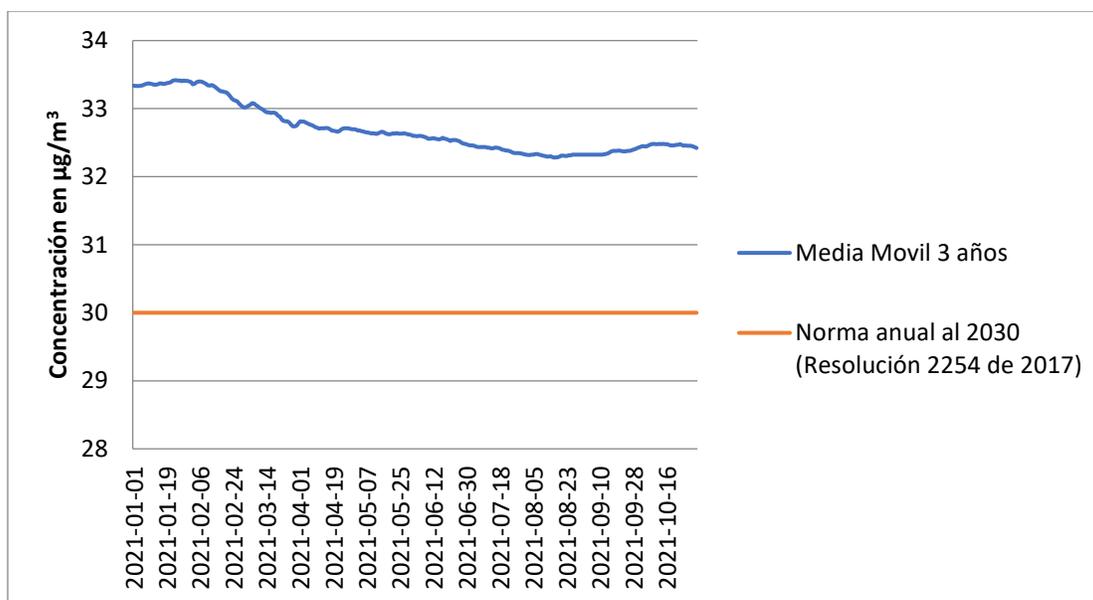
Debido a que no se presentan excedencias de la norma anual, el porcentaje de excedencias es 0.

v. Comparar los resultados con respecto a las clases de área fuente definidas en el Decreto número 1076 de 2015 y vi. Determinar el tipo de área fuente.

Con los resultados obtenidos, el área de cobertura de la estación Ciudadela no se declara como área fuente de contaminación.

Sin embargo, es importante señalar que al año 2030, de acuerdo con la Resolución 2254 de 2017, la norma anual de PM₁₀ pasará de 50 a 30 µg/m³, en cuyo caso, se presentaría una superación de la norma anual del 100% (Figura 54) que al ser comparado con la clasificación de área fuente definida en el Decreto 1076 de 2015, equivale a un área fuente tipo I, Área de contaminación alta (Tabla 29).

Figura 101 Media móvil PM₁₀ (promedios corridos) de tres (3) años de concentración para 2021 - estación ciudadela (norma anual para el año 2030)



Fuente elaboración propia.

Tabla 29 Excedencias de la media móvil 3 años con respecto a la norma anual de PM₁₀ para el año 2030. Estación Ciudadela

305	Datos totales validos media móvil
0	Datos menores o iguales a 30
305	Datos que superan 30µg/m3
100	% datos que superan 30µg/m3
Clasificación	Clase I. Área de Contaminación Alta

Fuente elaboración propia.

En un Área de Contaminación Alta, de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, deberán tomarse medidas de contingencia, se suspenderá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptarán programas de reducción de la contaminación que podrán extenderse hasta por diez (10) años.

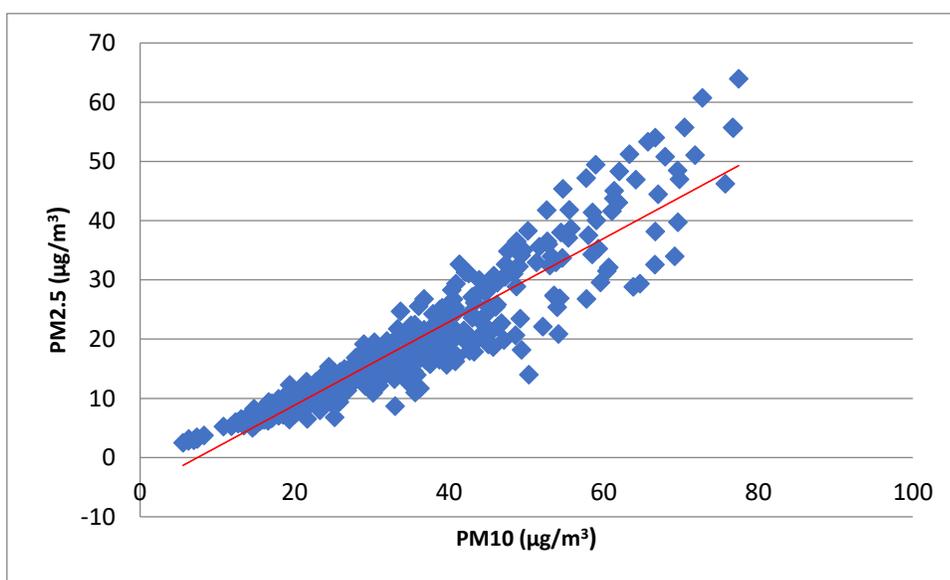
Así mismo, dada la importancia del PM_{2.5} que son partículas finas que tiene un mayor impacto sobre la salud de la población, y debido a que no se cuenta con datos válidos mínimos que permitan hacer un análisis para la declaración como área fuente de contaminación, se realizó una estimación del PM_{2.5} para poder realizar dicho análisis.

El PM_{2.5} fue estimado a partir de los datos que se tienen de PM_{2.5} y PM₁₀ para la estación La Ciudadela (2018-2020 – ver Tabla 28), para lo cual, inicialmente se midió el coeficiente de co-

relación obteniendo un resultado de 0,94, lo que significa una correlación positiva muy alta (Figura 102). Luego, se calculó la proporción de $PM_{2.5}$ en relación con el PM_{10} y se sacó el promedio de esta proporción que fue de 51%; con esta proporción, a partir de los datos que se tienen de la estación Ciudadela (2018-2021), se estimó el $PM_{2.5}$ para hacer el análisis de área fuente (Ver Anexo 1.1 Área fuente).

Estos resultados de la relación entre el $PM_{2.5}$ y el PM_{10} son congruentes con la razón de 0.5 que mencionan las Guías de calidad del aire del año 2005 de las Organización Mundial de la Salud, la cual refiere que “es característica de las zonas urbanas de los países en desarrollo y corresponde al límite inferior de la gama encontrada en las zonas urbanas de los países desarrollados (0,5–0,8)” (OMS, 2005, p. 12). A su vez, en las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre calidad del aire (2021), se menciona que el $PM_{2.5}$ es aproximadamente 50 a 80% del PM_{10} , manteniéndose la proporción referida en el 2005.

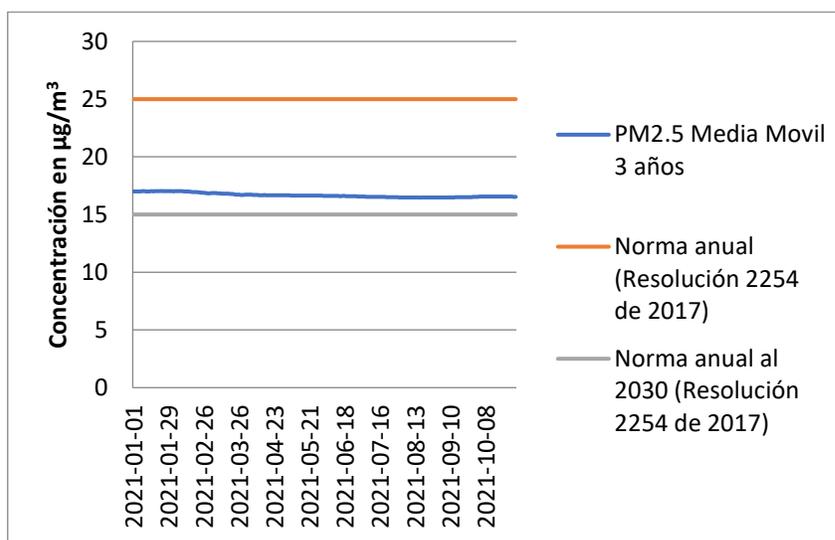
Figura 102 Relación entre el $PM_{2.5}$ y el PM_{10} Estación La Ciudadela



De esta manera, a partir de la estimación del $PM_{2.5}$ para los años 2018-2021, se calculó la media móvil de $PM_{2.5}$ (Anexo 1.1 Área fuente) arrojando una distribución, aproximada, entre los 16,5 y 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 56), por lo tanto, al ser comparados con la norma anual establecida en la Resolución 2254 de 2017, es decir, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no representan un porcentaje de excedencias del nivel máximo permisible anual de $PM_{2.5}$.

No obstante, al realizar el mismo análisis con la norma anual para el año 2030, se presenta una superación de la norma anual del 100% (Figura 56) que al ser comparado con la clasificación de área fuente definidas en el Decreto número 1076 de 2015, equivale a un área fuente tipo I, Áreas de contaminación alta (Tabla 30).

Figura 103 Media móvil PM_{2.5} (promedios corridos) de tres (3) años de concentración para 2021 - Estación ciudadela (norma anual para el año 2021 y 2030)



Fuente elaboración propia.

Tabla 30 Excedencias de la media móvil 3 años con respecto a la norma anual de PM_{2.5} para el año 2030. Estación Ciudadela

305	Datos totales validos media móvil
0	Datos menores o iguales a 15
305	Datos que superan 15µg/m3
100	% datos que superan 15µg/m3
Clasificación	Clase I. Área de Contaminación Alta

Fuente elaboración propia.

Por lo tanto, aunque actualmente los municipios del área metropolitana de Bucaramanga no cuentan con datos suficientes para analizar los resultados de las diferentes estaciones de monitoreo de PM₁₀, PM_{2.5} y NO₂, si no se toman medidas preventivas, considerando los datos de la estación Ciudadela, al año 2030 se terminarían excediendo al 100% los límites anuales para el PM₁₀ y el PM_{2.5}. De tal manera, acudiendo al principio de precaución, se debe elaborar e implementar un plan de gestión de la calidad del aire que permita prevenir, reducir y controlar los niveles de contaminación atmosférica en la Región.

Adicionalmente, vale la pena aludir, que la OMS estableció en sus nuevas directrices sobre calidad del aire (2021) estándares más estrictos que los establecidos en la normatividad colombiana. Así, el estándar anual para PM₁₀ es 15µg/m³ y el de PM_{2.5} es 5µg/m³ (OMS, 2021). Lo cual implicará un mayor esfuerzo nacional y local para mejorar la calidad del aire y proteger la salud de la población.

4.4.3. ANÁLISIS COMPLEMENTARIO

Es importante mencionar que la Política para el mejoramiento de la calidad del aire (DNP, 2018) y la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (MADS, 2019), tienen entre sus objetivos la

elaboración de los Planes de prevención, reducción y control de la contaminación del aire como se señala a continuación:

Uno de los indicadores de la Política para el mejoramiento de la calidad del aire que le apunta al objetivo específico de mejorar las estrategias de prevención, reducción y control de la contaminación del aire es el indicador “Planes de prevención, reducción y control de la contaminación del aire en implementación en municipios con población igual o superior a 150.000 habitantes sobre el total de municipios con más de 150.000 habitantes”, cuya meta al 2028 es que el 100% de los municipios con más de 150.000 habitantes cuenten con este tipo de Planes.

Y este indicador se fortalece en la Estrategia Nacional de Calidad del Aire dentro del objetivo específico II “Fortalecer el conocimiento técnico científico para avanzar en la gestión de la calidad del aire en el país”, en la línea de acción 4 “Fortalecer la formulación e implementación de planes de descontaminación y el seguimiento a la implementación”, la cual señala y tiene entre sus metas que entre 2021 y 2022 las autoridades ambientales formularán y avanzarán en la implementación de los planes de prevención, reducción y control de la contaminación del aire en municipios con más de 150.000 habitantes.

Consecuentemente, debido a que los municipios del área metropolitana de Bucaramanga cuentan con más de 150.000 habitantes (Ver Tabla 31), la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga debe apuntarle a esta meta de la Política de mejoramiento de la calidad del aire y de la Estrategia Nacional de Calidad del Aire, avanzando en la formulación e implementación del Plan de prevención, reducción y control de la contaminación del aire de la Región.

Tabla 31 Total habitantes municipios del área metropolitana de Bucaramanga

Municipio	Total habitantes (Censo 2018)
Bucaramanga	528.855
Piedecuesta	157.425
Girón	150.610
Floridablanca	275.109

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del DANE (2021).

4.5. DIAGNÓSTICO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE (AUTORIDAD AMBIENTAL)

El gobierno nacional, a través del Consejo Nacional de Política Económica y Social, aprobó el documento CONPES 3344 de 2005, el cual representa los lineamientos que se deben tener en cuenta para la definición de las políticas y estrategias nacionales y locales de prevención y control de la contaminación del aire causada por fuentes fijas y móviles.

Teniendo en cuenta que a las Corporaciones Autónomas Regionales, CAR, y autoridades ambientales de los centros urbanos les compete ejercer el control policivo de las fuentes de contaminación, exigir el cumplimiento de las regulaciones y efectuar el monitoreo de la calidad del aire, es necesario describir las gestiones adelantadas por estas entidades y el estado actual de las

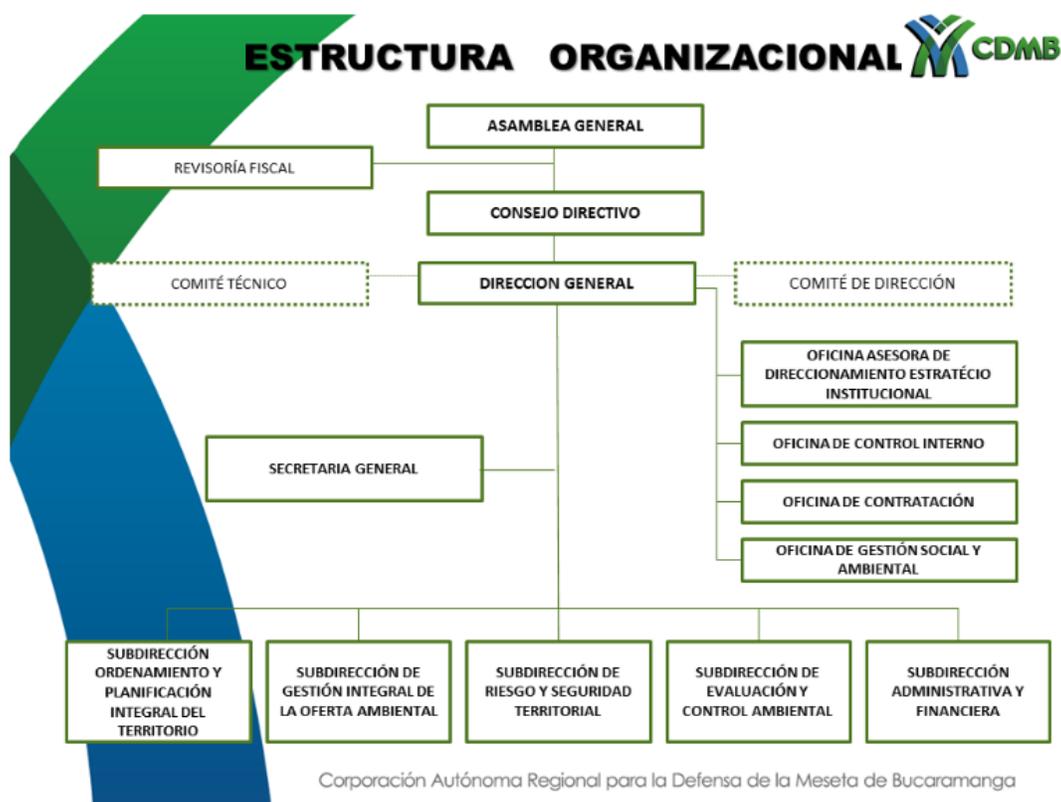
mismas en material de acciones encaminadas a la reducción de los contaminantes atmosféricos y consecuente mejora de la calidad del aire.

En el caso del presente, la entidad encargada de la regulación ambiental de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta es la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB.

De manera general, la CDMB es un ente corporativo de carácter público, creada por ley, encargada de la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos en materia de ambiente, recursos naturales renovables y cambio climático, aplicando las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento. Su visión para el año 2031 está planteada para ser una entidad de referencia por su gestión ambiental eficiente y eficaz en su jurisdicción, contribuyendo a la protección de la vida de hoy y garantizando la del mañana. (CDMB, 2018).

La CDMB cuenta con una estructura organizacional como se muestra a continuación:

Figura 104 Estructura organizacional de la CDMB



Fuente: CDMB, 2022.

Específicamente, la Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio define las políticas ambientales regionales, que contribuyen al cumplimiento de los objetivos y funciones de la institución, por lo cual esta Subdirección es la encargada de los procesos de formulación de los sistemas de gestión ambiental municipal, para identificar y priorizar proyectos

ambientales con los entes territoriales. En este sentido, esta Subdirección es la encargada de la formulación del Plan de Gestión de la Calidad del Aire de los 4 municipios del área metropolitana de Bucaramanga.

Es de aclarar, que esta Subdirección trabaja de manera mancomunada con las demás subdirecciones de la entidad y especialmente con la Subdirección de Evaluación y Control Ambiental.

Como se mencionó en el numeral 3.3, la CDMB cuenta con el Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2015-2031y el Plan de Acción Institucional 2020-2023, donde se orientan las gestiones y acciones de todos los actores regionales y de la Corporación como tal, con el fin de avanzar hacia el desarrollo sostenible en las regiones.

En materia de calidad del aire, La CDMB dentro del PGAR planteó la meta de realizar el monitoreo de la calidad del aire y ruido ambiental en el área metropolitana de la región, en el marco de la línea estratégica III: La Zonificación Ambiental como Estrategia de Desarrollo. Esta entidad realiza el seguimiento, monitoreo y control de la calidad del aire en el área metropolitana de Bucaramanga, por medio de la red de monitoreo instalada.

De igual forma, la Corporación cuenta con un grupo de trabajo orientado al seguimiento de la calidad del aire para fuentes fijas, fuentes móviles, ruido y olores. Cabe resaltar que a pesar de que se cuenta con personal idóneo para realizar estas actividades, una de las principales oportunidades de mejora, radica en el refuerzo del talento humano en términos de cantidad de personas dirigidas a la temática.

Específicamente para la temática calidad del aire la entidad cuenta con profesional de gestión de la calidad del aire, profesional encargado del mantenimiento de los equipos con los que cuenta la entidad, así como su profesional de apoyo. Los anteriores, adscritos a la Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio. Para la Subdirección de Evaluación y Control Ambiental, se cuenta con 3 coordinaciones (Grupo Élite Ambiental, Seguimiento para la Sostenibilidad; y Evaluación). Dentro del grupo de seguimiento para la sostenibilidad, se cuenta con técnico operativo para ruido, técnico operativo para olores, profesional de fuentes fijas y olores y técnico operativo de fuentes móviles. De igual forma, en el grupo de evaluación se cuenta con profesional para el seguimiento de permisos de emisiones de fuentes fijas.

Adicionalmente, la entidad cuenta con una coordinación de gestión del conocimiento, la cual lleva a cabo diversos procesos y proyectos en temáticas ambientales.

Según la información suministrada, la entidad cuenta con profesionales de planta, pero de igual forma, profesionales contratistas, lo cual, en términos de seguimiento y control de procesos en cualquier temática, y especialmente en calidad del aire, puede generar una afectación en caso de que se de rotación de personal, lo cual representa un reto respecto a gestión de información, datos, procedimientos, entre otros, teniendo en cuenta la experiencia adquirida por los profesionales.

En el numeral 7, se describirá una propuesta respecto al fortalecimiento del grupo de trabajo en materia de gestión de la calidad del aire de la entidad.

Adicionalmente, es importante resaltar que en el marco del Plan de Desarrollo de la Entidad y el PGAR, se han realizado importantes avances en Gestión de la Calidad del aire e igualmente se encuentran en proceso de diseño o implementación de diversos proyectos que permitirán ampliar las capacidades de la entidad, mejorar procedimientos, ampliar la investigación y conocimiento científico así como optimizar los procesos existentes.

4.5.1. GESTIÓN REALIZADA

Como parte de los esfuerzos de la entidad en la gestión de la calidad del aire, se destacan el rediseño del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) en Bucaramanga y su área metropolitana. Este rediseño, se llevó a cabo en cumplimiento de la fase de diseño y modernización del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) de la CDMB que hace parte del contrato N° 12942 – 03 celebrado entre la Corporación Autónoma Regional para La Defensa de La Meseta De Bucaramanga – CDMB y K2 Ingeniería S.A.S, cuyo objeto es “Diseñar, Implementar Y Operar El Sistema De Alertas Tempranas De Olores Ofensivos Y Modernización Del Sistema De Vigilancia De Calidad Del Aire De La CDMB (M-Sopit-Sist.Alerta-01)”.

El SVCA operado por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB estaba constituido por tres (3) estaciones automáticas denominadas Cabecera, Ciudadela y Florida, integradas por equipos de monitoreo automático de los contaminantes criterios PM₁₀, O₃ y meteorología. Con esta actualización, se instalaron 4 estaciones de monitoreo las cuales miden los siguientes parámetros:

Tabla 32 Distribución de los equipos en las 4 estaciones de monitoreo

Estación	Parámetros que mide
Kennedy	PM ₁₀ y PM _{2.5} simultáneo
	TRS
	O ₃
	Meteorología
Gaitán	PM ₁₀ y PM _{2.5} simultáneo
	TRS
	O ₃
	Meteorología
Cabecera	PM ₁₀ y PM _{2.5} simultáneo
	O ₃
	NO _x – NO – NO ₂
	SO ₂
	CO
	Meteorología
Piedecuesta	PM ₁₀ y PM _{2.5} simultáneo
	O ₃
	NO _x – NO – NO ₂
	SO ₂
	CO

Fuente: CDMB y K2 Ingeniería, 2021.

De igual forma, la CDMB, con el mismo propósito de avanzar en la gestión de la calidad del aire de Bucaramanga y su área metropolitana, diseñó un Sistema de Alertas Tempranas - SAT por olores ofensivos, problemática que es bastante marcada en el territorio. Esta gestión viene dada debido al sistema de seguimiento por PQR con el que cuenta la entidad y la calidad de vida de los ciudadanos, los cuales se ven afectados por estas emisiones. Conforme a esto, la Corporación, implementó el sistema de vigilancia antes mencionado, así como un sistema de alertas tempranas por olores ofensivos, de tal manera que se cuente con una herramienta tecnológica en tiempo real para la vigilancia permanente de las fuentes generadoras de olores molestos en las comunidades cercanas, con el fin de, iniciar medidas precautelares y aplicar en caso necesario el principio de precaución que propenda por la mitigación efectiva de la problemática. (CDMB, 2021).

La ubicación de los sensores METPOLE se basó teniendo en cuenta la meteorología y la localización de las quejas radicadas en la CDMB por la comunidad, así como los receptores sensibles en el área. La macro-localización de cada una de las estaciones es representativa para medir las concentraciones de contaminantes por olores ofensivos en toda el área de interés, y en las industrias, pues determina las condiciones de calidad de aire por olores permitiendo la ejecución de acciones de manera oportuna, así como en las poblaciones adyacentes ya que medirá el impacto en la calidad de aire sobre estos. (CDMB y K2 Ingeniería, 2021). Adicional a las mediciones por olores ofensivos, estas estaciones medirán material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, Ozono (O₃), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Dióxido de Azufre (SO₂) y medición de variables meteorológicas básicas como temperatura, presión, humedad, radiación, velocidad del viento, dirección del viento y precipitación.

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia el compromiso de la CDMB como autoridad ambiental, en el avance de la gestión de la calidad del aire, el cual es un proceso constante de actualización y mejora de los sistemas de seguimiento y control utilizados.

Finalmente, cabe aclarar que el recurso aire es afectado de manera positiva o negativa por las acciones que se realicen en diferentes sentidos y por los diferentes actores. En este panorama, las gestiones que se realizan desde la Autoridad Ambiental son pieza fundamental para el mejoramiento de la calidad del aire de la región, sin embargo, es un trabajo que no depende únicamente de esta entidad y la creación de lineamientos, sino que es una labor que debe ejecutarse y presentar compromiso por parte de todos los actores, que van desde los gobiernos locales y regionales hasta la ciudadanía y sector productivo de la región. El éxito de las medidas que se apliquen dependerá del trabajo mancomunado de todos los interesados.

4.5.2. COMUNICACIONES

Dentro del diagnóstico realizado a la entidad, se evidencia que no se cuenta con un plan de comunicación establecido sobre la calidad del aire en Bucaramanga y su área metropolitana. Dentro de la página web de la entidad se encuentra información de calidad del aire y las mediciones realizadas en cuanto a contaminantes atmosféricos, así como los planes de acción propuestos, sin embargo, es importante que se fortalezca las estrategias de comunicación de la información a la comunidad, autoridades locales y demás actores involucrados en la gestión de la calidad del aire.

Se deben diseñar herramientas que permitan comunicar los resultados de monitoreo y demás información de interés de manera permanente y efectiva, incorporando la participación ciudadana como elemento clave en este proceso. Este tipo de actividades está dirigido adicionalmente, a que los programas que se implementen convoquen a todos los actores al compromiso en el papel que se ejerce sobre la problemática de contaminación atmosférica y las estrategias para solucionarlas.

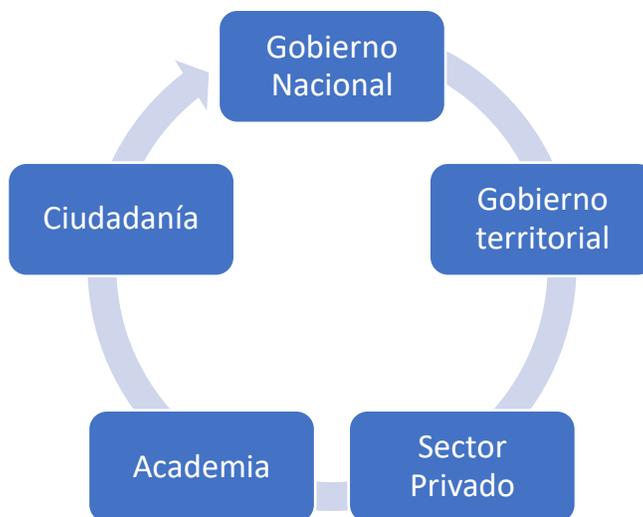
4.5.3. GOBERNANZA

La gobernanza de aire es la cogestión e interacciones entre organismos públicos, sector privado y sociedad civil para avanzar en el mejoramiento de la calidad de este recurso natural. La gobernanza comprende todos los procesos, mecanismos e instituciones a través de los cuales todos los actores influyen en las acciones para mejorar la gestión de la calidad del aire en el territorio. (MADS, 2021).

La Gobernanza se refiere a la capacidad de resolver colectivamente los problemas y contribuir al desarrollo de los territorios mediante la articulación y participación de todos los actores involucrados.

Para la Gobernanza del aire se plantea la gestión de forma colectiva e integral de la calidad del aire de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, por medio del cual se busca la cooperación y sinergia de todos los actores involucrados con el fin de alcanzar y cumplir las metas que se tracen y lograr los objetivos comunes en la mejora de la calidad del aire.

Los actores aquí involucrados incluyen el sector público (Ministerios, Gobiernos Regionales, Gobiernos locales, Autoridad Ambiental), sector privado (transporte, industria, construcción), academia y finalmente la ciudadanía.

Figura 105. Actores involucrados en la Gobernanza del aire

Fuente: Autor a partir de "Modelo de la Gobernanza del Aire" (MADS, 2021).

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, existen 7 elementos estratégicos para la construcción de la Gobernanza del aire, los cuales son:

1. Inclusión y apropiación de actores
2. Identificación de roles y responsabilidades
3. Transparencia y acceso a la información
4. Diálogo y participación
5. Cogestión y coordinación
6. Gestión del conocimiento
7. Rendición de cuentas

Para la Gobernanza del Aire, cada actor aporta en la medida de sus posibilidades y asume responsabilidades en el término de sus funciones, adicionalmente deben participar de manera activa, por lo cual, en el camino a la consolidación de este modelo, se ha iniciado un proceso dentro de la elaboración del presente Plan de la Gestión de la Calidad del Aire, involucrando a los sectores antes mencionados, en la co-definición de las medidas prioritarias a implementar en nuestra región y proponiendo medidas direccionadas a los 7 elementos estratégicos mencionados anteriormente.

Es vital que se continúe con este proceso, mediante el fortalecimiento del Consejo Territorial de Salud Ambiental – COTSA, la creación de mesas de calidad del aire en las ciudades y la región y producción de proyectos de investigación que propendan por brindar soluciones efectivas a la contaminación atmosférica.

La formulación del Plan de Gestión de la Calidad del Aire es un primer paso en la implementación del modelo de Gobernanza del aire propuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como para la consecución de las metas planteadas a nivel nacional en la reducción de emisiones y mejoramiento de la calidad del aire.

5. MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES

Para el diseño de un Plan de Gestión de la Calidad del Aire, se debe partir del análisis del contexto mundial y nacional de la problemática de la calidad del aire (descrita anteriormente) y los resultados del diagnóstico de la calidad del aire a nivel regional o local (realizada mediante la descripción de los datos recopilados por el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire y el inventario de emisiones).

Teniendo en cuenta esta información, se interpretan las relaciones que existen entre las fuerzas motrices de la calidad del aire, las emisiones generadas a la atmósfera que finalmente se verán reflejadas en el estado de la calidad del aire. Adicionalmente, parte importante de la definición de estrategias para la descontaminación del aire, viene dada por los impactos que esto representa para la salud de la población, el ambiente y la economía.

Específicamente para el caso de Bucaramanga y su área metropolitana, el enfoque del plan viene orientado a la reducción de las concentraciones de $PM_{2,5}$, PM_{10} y olores, los cuales históricamente han representado la mayor parte de la problemática local. De igual manera, un Plan de Gestión de la Calidad del Aire debe enfocarse en el cumplimiento de la normatividad nacional, así como los lineamientos internacionales a los que se ha acogido el país.

De la actualidad y características descritas para el área metropolitana de Bucaramanga, se concluye en la necesidad de generar y actualizar las medidas que se han generado a lo largo del tiempo en la gestión de la calidad del aire, siguiendo como ejemplo las ciudades de Colombia, así como las experiencias internacionales en las que se han generado acciones de éxito en esta materia. De igual forma, estas experiencias brindan un panorama más amplio que evita que se repitan acciones erradas o de poca eficiencia en nuestra región.

El Plan de Gestión de la Calidad del Aire, debe ser integrado con los Planes de Desarrollo de los municipios del área metropolitana, los Planes Maestros de Movilidad, Planes de Ordenamiento Territorial, así como otros instrumentos complementarios de gestión.

Es así, como se describirán las líneas de acción que conforman el PGCA de la CDMB para Bucaramanga y su área metropolitana, generadas posterior al trabajo conjunto con actores institucionales, sector industria y transporte y comunidad.

El objetivo general de este plan es convertirse en una herramienta que permita dar directrices en el proceso de reducción de la contaminación atmosférica en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, propendiendo por la salud de los habitantes y el medio ambiente.

5.1. MESAS DE TRABAJO

A partir de la revisión bibliográfica para la elaboración de Planes de Gestión de la Calidad del Aire y de experiencias presentadas en otras ciudades del país y del mundo, se formularon una serie de medidas base para generar espacios de participación activa de diferentes actores importantes en la gestión de la calidad del aire.

Como parte de esta estructuración de las medidas a implementar en el corto, mediano y largo plazo para Bucaramanga y su área metropolitana, se llevaron a cabo 5 mesas de trabajo distribuidas en actores institucionales (Secretarías de ambiente, secretarías de salud, secretarías de tránsito, secretarías de planeación, secretarías de desarrollo social, entre otros), sector industria, sector transporte y comunidad, para la discusión y priorización de las medidas para el Plan de Gestión de la Calidad del Aire.

Como resultado de la mesa de trabajo con los actores institucionales realizada el 17 de febrero de 2022, se obtuvo un listado de medidas distribuidas en las siguientes temáticas:

- Industria
- Movilidad (transporte)
- Fortalecimiento institucional
- Ordenamiento territorial
- Movilidad activa
- Otros

Para la línea de Industria, se generaron un total de 15 posibles medidas para el control y reducción de las emisiones contaminantes. Para la línea Movilidad (transporte), se generaron 18 medidas. En la línea de ordenamiento territorial 14 medidas, fortalecimiento institucional 15 medidas, Movilidad Activa 15 medidas y Otros, 18 medidas, para un total de 95 medidas. Cabe resaltar que, de este ejercicio, se generan 225 propuestas de medidas, sin embargo, las 95 mencionadas anteriormente correspondieron a las consideradas con mayor importancia.

Posterior al análisis y validación de los resultados de la primera mesa de trabajo, se realizaron las mesas con la comunidad, sector transporte y sector industria, los días 5, 6 y 7 de abril respectivamente. La metodología para este espacio estuvo basada en la retroalimentación y calificación de la importancia de las medidas.

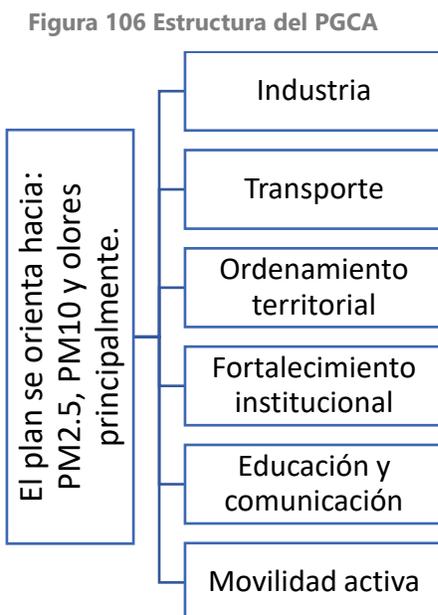
De este espacio, se consolidaron 98 medidas en total para 6 líneas de trabajo que finalmente se establecieron de la siguiente manera:

- Industria
- Transporte
- Ordenamiento territorial
- Fortalecimiento institucional
- Educación y comunicación
- Movilidad activa

Con estas medidas se busca la reducción de la contaminación atmosférica en la región de interés, así como el mejoramiento de la calidad de vida y salud de la población.

5.2. MEDIDAS ESTRUCTURALES

A partir del trabajo realizado previamente y para lograr los objetivos, se determinan las líneas de trabajo del Plan de Gestión de la Calidad del Aire para Bucaramanga y su área metropolitana, compuesto por medidas estructurales a saber:



Fuente: Autor.

Estas líneas de acción fueron establecidas teniendo en cuenta la dinámica que se presenta en la región respecto a actividades productivas, recursos y oportunidades de mejora. A continuación, se presentan las medidas pertenecientes a cada una de las líneas de acción propuestas en el plan. En el anexo 1. Medidas PGCA, se encuentra descrito a mayor detalle los objetivos de cada medida, acciones que están relacionadas y los plazos de ejecución planteados.

5.2.1. INDUSTRIA

Esta línea de acción está enfocada a asegurar el cumplimiento de la normatividad ambiental referente a las emisiones para los sectores productivos presentes en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga. Dentro de estas medidas se encuentran acciones desde mejora en las tecnologías utilizadas hasta implementación de normatividad específica para las condiciones de la zona. El propósito principal es que se propenda por actividades industriales con bajas emisiones que incluyan dentro de sus actividades programas de producción más limpia en aras de lograr el desarrollo sostenible.

Tabla 33 Medidas para la línea de acción Industria

Línea de Acción	Medidas
INDUSTRIA	Optimización de sistemas de control de emisiones.

Exigencia de uso de combustibles limpios a fuentes nuevas y/o criterios de mejor tecnología disponible.
Esquemas de reconocimiento a escenarios de excelencia de los procesos, autorregulación del desarrollo bajo en emisiones y ejecución de acciones adicionales en búsqueda de la reducción de emisiones.
Reporte periódico de las operaciones de combustión.
Incentivar a la industria que promueva la conversión de sistemas de combustibles alternativos y tecnológicos. Conversión de tecnologías que sustituyan la combustión o mejorar la eficiencia de las calderas y equipos utilizados, ejemplo: proceso de elaboración de ladrilleras artesanales a tecnologías más eficientes y con menos emisiones. Articular este proceso con sistemas de incentivos tributarios para la actualización de fuentes fijas.
Garantizar los canales de acceso para mejora de los equipos y/o tecnología por medio de apoyo fiscal e incentivos bancarios. Divulgación de incentivos para la industria por reconversión o inversión en tecnologías más limpias. Lo anterior sumado al aumento de fuentes de financiación para la migración de nuevas tecnologías. Promover que se desarrollen programas desde el gobierno nacional, que permita llevar a cabo estas actividades.
Desarrollo de programas de concientización y fortalecimiento al conocimiento normativo a través de capacitaciones y asistencia técnica a las empresas PYMES.
Fortalecer el programa OCAMS (Organizaciones Comprometidas con el Ambiente Sostenible) de propiedad de la CDMB.
Establecer normatividad regional que sea acorde a la situación específica de contaminación. Así mismo, normatividad que permita regular el uso de tecnologías más limpias para todas las fuentes fijas. Dentro de la normatividad, incluir la posibilidad de reducción de tiempos de la frecuencia de monitoreo actualmente generada por el indicador UCA (Unidad de Contaminación Atmosférica).
Diseño e implementación de normatividad en la que se exija el manejo adecuado a los olores ofensivos presentes en el área metropolitana de Bucaramanga.
Establecer políticas de responsabilidad ambiental efectivas al impacto por parte de las empresas, incluyendo su personal.
Promover la disposición de áreas verdes dentro de las instalaciones de la industria, que aporten a la captura de contaminantes del aire y en donde se garantice el cuidado mencionadas áreas. Como alternativa, se plantea la creación o fortalecimiento de bancos de semillas que se empleen como barreras vivas en el área industrial y plantas de beneficios.
Promover que en los programas de bienestar social de los sectores industriales se otorguen incentivos a los colaboradores que usen alternativas de movilidad activa (Bicicleta, scooter u otros medios).
Generar incentivos para empresas, industrias, que garanticen y demuestren reducción en emisiones atmosféricas de sus actividades.
Impulsar programas de producción sostenible en las empresas que realizan aprovechamiento de huesos. Adicionalmente, promover el fortalecimiento tecnológico del sector agroindustrial en especial sector avícola y porcícola desde el conocimiento y la investigación de alternativas para el manejo de residuos producidos por estas actividades (excretas, mortandad) que causan conflictos con la comunidad por olores.
Implementar mejoras tecnológicas a los tratamientos de disposición de residuos sólidos. Incentivos a la clasificación adecuada de residuos.
Retomar e impulsar mediante los bonos de carbono la planta de tratamiento y apro-

	vechamiento del gas metano del relleno sanitario.
	Promover la implementación voluntaria de sistemas de monitoreo continuo de emisiones para sectores prioritarios.
	Control en los procesos de tratamiento de agua residual para el control de olores ofensivos.

Fuente: Autor.

5.2.2. TRANSPORTE

Teniendo en cuenta los resultados del inventario de emisiones realizado, el sector transporte es la principal fuente de la contaminación atmosférica generada en la región. Es por esto, que la línea de acción Transporte, se enfoca en el incentivo de recambio de tecnologías vehiculares, mejora en la calidad de los combustibles y fortalecimiento del servicio de transporte público principalmente. Tal y como se ha venido observando, la tasa de motorización de Bucaramanga y su área metropolitana a lo largo de los años es elevada, por lo cual la aplicación de este tipo de medidas redundará en una disminución importante de las emisiones.

Tabla 34 Medidas para la línea de acción Transporte

Línea de Acción	Medidas
TRANSPORTE - MOVILIDAD	Cambio de tecnología vehicular. Estímulos para la reconversión de tecnología vehicular.
	Incorporación de vehículos eléctricos en el sistema de transporte público.
	Fortalecimiento, mejoramiento y modernización del transporte público asociado igualmente a la calidad del servicio.
	Mejoramiento de los combustibles (Gasolina y Diésel).
	Apoyo al Gobierno Nacional en la Introducción de estándares cada vez más exigentes para la entrada de vehículos nuevos.
	Ampliar la malla vial en el área metropolitana de Bucaramanga. Construcción y diseño inteligente de la malla vial que mejore la movilidad de los particulares y haga más eficiente el sistema de transporte público. Lo anterior ligado a la realización de estudios previos que permitan determinar las mejores opciones y diseños.
	Elaboración de planes de movilidad sostenible para entidades públicas y privadas. Dentro de las opciones que se plantean, se encuentran las rutas empresariales y universitarias, transporte particular compartido entre compañeros de trabajo (carpooling - mediante bases de datos internas en las empresas), cambios en horarios laborales (horarios flexibles para promoción de uso de transporte público y/o alternativas como la bicicleta. Scooter, entre otras. Adicionalmente, trabajo en casa).
	Bajar costos de importación para estímulo de adquisición de vehículos híbridos y eléctricos. Descuentos a vehículos eléctricos y híbridos, teniendo en cuenta los lineamientos del Gobierno Nacional.
	Incentivos a las personas que decidan comprar carros o vehículos eléctricos, por ejemplo, en la reducción o exoneración de impuestos.
	Cooperación internacional entre el Estado y los fabricantes de tecnologías de autos eléctricos.
	Aumentar puntos de recarga de vehículos eléctricos en el área metropolitana.
Pico y placa metropolitano.	

Tarifa diferencial en el sistema de transporte masivo para promover el uso del transporte en horas NO pico (bajar precios). Estímulos al uso de transporte masivo (menor precio y más seguridad). Así mismo, implementar un sistema (tarjeta) que vincule a todos los estudiantes (colegios, universidades públicas y privadas).
Establecer regulaciones y normativa más estricta para los vehículos de modelos antiguos. Mayores impuestos.
Implementar la estampilla para vehículos que cumplan con los requerimientos establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Fortalecimiento de la capacidad operativa de las direcciones de tránsito para garantizar una movilidad eficiente y sostenible.
Desarrollar propuestas de alternativas a la movilidad como implementación de teleféricos teniendo en cuenta la topografía montañosa de la zona.
Desarrollo Planes de seguridad vial local.
Promover que desde el Gobierno Nacional implemente un programa de chatarrización que incentive el recambio de tecnología vehicular mediante programa de subsidios y/o exoneración/reducción de impuestos.
Renovación de la flota vehicular (buses, camiones y volquetas). Incentivos para la modernización de la flota de automóviles y motocicletas en circulación.
Disminución costos de revisión tecnicomecánica. Política para incentivar la revisión tecnicomecánica y permiso de emisiones, en la reducción del costo del SOAT e impuesto vehicular.
Regulación ventas de motos mediante el control de la homologación y cumplimiento de los estándares nacionales e internacionales.
Generar propuestas que permitan viabilizar el transporte público gratuito para disminuir la compra de un segundo vehículo por pico y placa.

Fuente: Autor.

5.2.3. ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Como se destaca en múltiples publicaciones y se ha visto reflejado en la realidad de la región, el crecimiento demográfico y el aumento de la ocupación de los territorios sin una planeación efectiva, son factores muy importantes en la generación de emisiones de contaminantes a la atmósfera. Por ello, es vital que se generen lineamientos desde las entidades gubernamentales acerca respecto a la ordenación del territorio. Adicionalmente, es de suma importancia que estas medidas se articulen a los instrumentos como Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios

A continuación, se relacionan las medidas en materia de ordenamiento territorial, que tendrían un impacto en la reducción de emisiones.

Tabla 35 Medidas para la línea de acción Ordenamiento Territorial

Línea de Acción	Medidas
ORDENAMIENTO TERRITORIAL	<p>Incremento de Espacios Públicos Verdes y Arbolado Urbano, mantenimiento adecuado de los espacios existentes mediante herramientas como la construcción y adecuación de paisajismo en el área con especies endémicas de la zona, iniciativas para convertir espacios urbanos subutilizados o abandonados en nuevos parques y/o terrenos para siembra masiva de árboles, rediseño de separadores viales para incrementar el volumen de biomasa, diversidad funcional y conectividad ecológica.</p> <p>Lo anterior, a través de la implementación del manual de silvicultura para diversificación funcional de la flora urbana, articulación interinstitucional para el adecuado diseño de las siembras de árboles (Alcaldías-academia-Jardín botánico). Adicionalmente, vincular a las empresas en el compromiso de arborización estilo tasa retributiva.</p>
	Integrar las políticas de desarrollo urbano, transporte y calidad del aire.
	Articulación efectiva de los POT del área metropolitana de Bucaramanga garantizando su ejecución y penalización. Estudios proyectados y viables garantizando el uso correcto del suelo.
	Regular el trámite de la licencia de construcción de grandes edificios y los cercanos a principales vías, promoviendo el ecodiseño en la implementación de fachadas y terrazas verdes como sumidero de carbono. Aprovechamiento al máximo de la infraestructura civil para incluir plantas que recubran las obras civiles. Incentivos a la construcción sostenible, trazabilidad y articulación entre gobierno-empresa y consumidor final (alivios fiscales).
	Establecer uniformidad en los sistemas de construcción con tecnologías en vías y edificaciones que permitan tener un territorio innovador.
	Adicionalmente, planeación que tenga en cuenta variables meteorológicas que reduzcan los posibles impactos de contaminantes y cambios en las temperaturas.
	Implementación de distritos térmicos en áreas urbanas con establecimiento de zonas libres de emisiones.
	Incentivar la reubicación de las industrias con beneficios tributarios.
	Restringir la instalación de nuevas fuentes fijas en zonas sensibles.
	Articular la construcción nueva en torno al peatón y no al automóvil.
	Crear planes óptimos acorde con la densidad poblacional para las obras viales, garantizando así una normal circulación y tránsito.
	Anillo vial externo Piedecuesta - Floridablanca. Concentración de emisiones en un área específica.
	Establecer línea base de la dispersión de contaminantes críticos en Bucaramanga para establecer zonas de restricción de la construcción vertical.
Reubicación de la zona industrial con base en estudios previos de dispersión y acumulación de los contaminantes atmosféricos.	

Fuente: Autor.

5.2.4. FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL

La institucionalidad hace parte importante de la implementación y éxito de las medidas para reducción y control de las emisiones atmosféricas. Por lo anterior, es clave que se fortalez-

can los procesos llevados a cabo dentro de la Autoridad Ambiental para asegurar el seguimiento, vigilancia y control, así como fortalecer las capacidades y generar herramientas para verificar el cumplimiento de la normativa.

Tabla 36 Medidas para la línea de acción Fortalecimiento Institucional

Línea de Acción	Medidas
FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL	Fortalecer el seguimiento y control a las fuentes fijas mediante un programa con el cumplimiento de metas e incremento del personal a cargo. Seguimiento y control con mayor frecuencia a las fuentes fijas existentes de acuerdo a con la ubicación de estas. Fortalecimiento del modelo de inspección, vigilancia y control (IVC) a las industrias.
	Fortalecer el seguimiento y control a las fuentes móviles. Reforzar el programa de seguimiento al cumplimiento de la normatividad para fuentes móviles.
	Fortalecimiento de las herramientas de seguimiento (monitoreo de calidad del aire, inventarios de emisiones, seguimiento epidemiológico).
	Monitoreo continuo de emisiones. Desarrollo constante de inventarios de emisiones atmosféricas.
	Establecer periodicidad de 2 o 3 años para la actualización de los inventarios.
	Incrementar la capacidad técnica del equipo de gestión de la calidad del aire, para aumentar el seguimiento al cumplimiento de las exigencias relacionadas con emisiones atmosféricas de fuentes fijas y fuentes móviles. Así mismo, fortalecimiento de las capacidades y conocimientos de los funcionarios de las entidades en las nuevas disciplinas de análisis de información (Data science).
	Exigencia de permisos de emisión para los equipos que trabajen con gas natural.
	Implementar y alimentar una herramienta (software) con los datos monitoreados y analizados de calidad del aire para ser consultado de manera continua por autoridades y comunidad. El objetivo del software es que se convierta en herramienta para la toma de decisiones, investigación, entre otros.
	Establecer un solo software de información general de control y seguimiento de la calidad ambiental que sea alimentada en tiempo real por las empresas y entidades en general, privadas y del estado.
	Fortalecer y mantener la articulación interinstitucional para ejecutar el PGCA y unificar la generación de información para la comunidad en general en cuanto al estado de la calidad del aire. De igual forma fortalecer las alianzas con la academia, institutos de investigación y demás actores involucrados, para robustecer el conocimiento y gestión de la calidad del aire y cambio climático.
	Fortalecimiento de estrategias de información, educación y comunicación para todos los actores vinculados a la gestión de la calidad del aire.
	Generar una aplicación (App) o plataforma para la que la ciudadanía conozca el estado de la calidad del aire. Implementar una estrategia comunicacional para informar de manera continua a la ciudadanía sobre la importancia, corresponsabilidad y beneficios en la reducción de emisiones atmosféricas.
	Aumentar el presupuesto de los Planes de Desarrollo en el monitoreo, software, comunicación para la elaboración completa de los boletines informativos.
Fortalecer el grupo encargado de monitoreo, comunicación y seguimiento de la información.	
Fortalecer la mesa técnica de calidad del aire.	

	<p>Unificar la acción, regulación y control en una sola entidad. Articulación entre los entes territoriales y la autoridad ambiental en la aplicación de la normatividad en materia de control a emisiones atmosféricas.</p> <p>Cooperación institucional particularmente articulación CDMB-AMB en monitoreo calidad del aire. Articular las diferentes redes del SVCA de las diferentes instituciones de la región para contar con información complementaria.</p> <p>Articulación con otros entes gubernamentales para establecer operativos de control.</p>
	Fortalecer el control y vigilancia a las plantas de beneficio animal.
	Vigilancia a los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA). Formular una política pública de lucha contra la corrupción en materia de revisión de gases.
	Diseñar e implementar un instrumento de seguimiento eficiente desde la autoridad ambiental para la gestión de quejas por olores ofensivos.
	Crear o fortalecer bancos de semillas que se empleen como barreras vivas en el área industrial y plantas de beneficios.
	Normas y leyes más estrictas y claras para el control de olores ofensivos para cada actividad económica, fortaleciendo las instituciones entregando herramientas para el control, seguimiento y sanción a quienes generen olores ofensivos.
	Diseño e implementación de instructivo para el manejo adecuado de olores ofensivos en el área metropolitana. Adicionalmente, generar procesos de capacitación a las empresas para mejorar los sistemas de control de olores y emisiones.
	Invertir constantemente en el mantenimiento de equipos de monitoreo y actualizarlos de acuerdo con las nuevas tecnologías.
	Generar índices propios para la zona (tipo ICA) con relación a los parámetros del área metropolitana.
	Convocar a la academia para fortalecer los índices ICA en base a la línea de información con la que se cuenta.
	Aplicar sanciones efectivas y más severas al incumplimiento de los estándares para emisiones de contaminantes atmosféricos.
	Investigación: promover estudios de modelación que permitan identificar puntos críticos de contaminación (procedencia y transporte de los contaminantes).
	Generar un sistema de control para las fuentes de área como canteras y empresas de construcción.
	Propender por la actualización de la ley 99/1993 en pro del mejoramiento del SINA mediante la reestructuración de las funciones de los distintos actores.

Fuente: Autor.

5.2.5. EDUCACIÓN Y COMUNICACIÓN

Parte del diagnóstico de las capacidades y herramientas con las que se cuentan en Bucaramanga y su área metropolitana respecto a gestión ambiental, se encontró que no se cuenta con un programa o canales efectivos de comunicación de la información, por lo cual surgió esta línea de acción que pretende llegar de manera más directa a uno de los actores más importantes que es la comunidad. Adicionalmente, se pretende que la educación sea pieza clave en la modificación de hábitos y cultura de la población, así como herramienta importante para que la gestión de la calidad del aire se haga de manera idónea.

Tabla 37 Medidas para la línea de acción Educación y Comunicación

Línea de Acción	Medidas
EDUCACIÓN Y COMUNICACIÓN	Generar programas de educación ambiental a los conductores mediante la concientización acerca de la emisión de cada vehículo. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente.
	Generar programas de educación en inteligencia vial.
	Fortalecimiento de la educación ambiental en materia de calidad del aire en instituciones públicas y privadas.
	Brindar acompañamiento y asistencia técnica a empresarios metropolitanos en temas de gestión ambiental. Brindar capacitaciones concretas en la implementación de tecnologías limpias, sistemas de control, entre otros.
	Generar publicidad que contribuya al uso del sistema de transporte público (que no sea una cuestión de estrato social).
	Generar herramientas y canales de comunicación efectivos para transmitir la información relacionada con calidad del aire a la comunidad y demás actores involucrados.
	Promover la aplicación de instrumentos pedagógicos a instituciones público-privadas que permitan una movilidad saludable, segura y sostenible.
	Generar programas para promover un proceso educativo en la primera infancia para el reconocimiento de la importancia de la movilidad activa. Adicionalmente incluir temáticas de gestión de la calidad del aire y la importancia de todos los actores en la mejora de esta.
	Promoción, educación, capacitación e información acerca de la existencia de bicicletas públicas integradas al sistema de transporte del área metropolitana de Bucaramanga.
	Educación ambiental a entidades públicas, privadas y comunidad frente a la segregación adecuada de residuos sólidos.

Fuente: Autor.

5.2.6. MOVILIDAD ACTIVA

Siendo que el sector transporte es la principal fuente de emisiones en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, es de vital importancia generar propuestas que permitan implementar métodos alternativos al transporte tradicional. Dentro de estas medidas se encuentra el fomento de uso de bicicletas, Scooter u otras alternativas de movilización con el fin de reducir la presión generada por la alta tasa de motorización de la región. El ordenamiento territorial jugará un papel muy importante en la materialización exitosa de esta línea de trabajo.

Tabla 38 Medidas para la línea de acción Movilidad Activa

Línea de Acción	Medidas
MOVILIDAD ACTIVA	Promoción al uso de la bicicleta mediante un sistema de bicicletas públicas integrada al sistema de transporte.
	Diseñar estrategia de aumento de días sin carro y sin moto, teniendo en cuenta la estrategia inicial de mejora del transporte público, así como las zonas de mayor contaminación atmosférica según el inventario de emisiones.
	Implementar un sistema de seguimiento y monitoreo que permita medir el impacto del uso de la bicicleta a nivel social, salud y económico.

	Preparar a las ciudades para la movilidad activa, por ejemplo, contar con parqueaderos gratis y seguros para bicicletas en áreas públicas (centros comerciales, entidades públicas, etc.)
	Mejorar la infraestructura para la movilización de biciusuarios y peatones mediante corredores viales. Revisión de los perfiles viales que permitan la reducción de las altas temperaturas. Ampliar las redes de seguridad policivo y de tránsito para los ciclistas.
	Desarrollo de servicios localizados por áreas para disminuir los desplazamientos.

Fuente: Autor.

5.3. METAS DEL PGCA

Los planes de gestión de la calidad del aire se diseñan con el fin de cumplir objetivos y metas específicos en los lineamientos nacionales e internacionales. Para este logro, las medidas planteadas buscan reducir de manera gradual las concentraciones de los contaminantes atmosféricos respecto al comportamiento de las actividades productivas y tendencias en el transporte y crecimiento de las ciudades.

Teniendo en cuenta lo anterior, la principal meta del presente PGCA, es el cumplimiento de los límites máximos actuales establecidos en la Resolución 2254 de 2017 respecto a los contaminantes criterio. De igual forma, se busca cumplir la meta de reducción de niveles de concentración de contaminantes para el año 2030 establecidos en la misma resolución.

Tabla 39 Niveles máximos permisibles de contaminantes en el aire para el año 2030.

Contaminante	Nivel máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
PM₁₀	30	Anual
PM_{2,5}	15	Anual
SO₂	20	24 horas
NO₂	40	Anual

Fuente: Resolución 2254 de 2017.

Es importante destacar que la meta principal es el cumplimiento de la normatividad nacional vigente, sin embargo, se deben tener en cuenta también, las directrices mundiales sobre la calidad del aire establecidas por la Organización Mundial de la Salud, ya que estas están basadas en la evidencia del impacto sobre la salud, que tiene la exposición a concentraciones específicas de ciertos contaminantes. La última publicación de la OMS fue realizada en el año 2021, donde se actualizaron los niveles recomendados y las metas intermedias propuestas por esta misma organización, entendiendo que es una tarea difícil para muchas regiones.

Tabla 40 Niveles recomendados por la OMS sobre calidad del aire y metas intermedias

Contaminante	Tiempo promedio	Metas intermedias				Nivel de las directrices sobre calidad del aire
		1	2	3	4	
PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Anual	35	25	15	10	5

	24 horas	75	50	37,5	25	15
PM₁₀ (µg/m³)	Anual	70	50	30	20	15
	24 horas	150	100	75	50	45
O₃ (µg/m³)	Tempor. Alta	100	70	-	-	60
	8 horas	160	120	-	-	100
NO₂ (µg/m³)	Anual	40	30	20	-	10
	24 horas	120	50	-	-	25
SO₂ (µg/m³)	24 horas	125	50	-	-	40

Fuente: OMS, 2021

De igual forma, y teniendo en cuenta la información presentada en el diagnóstico de calidad del aire, los olores ofensivos son de especial interés en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, por lo cual una de las metas del Plan es el cumplimiento de la Resolución 1541 de 2013 en cuanto a los límites de inmisión de las sustancias generadoras de estos olores ofensivos.

Tabla 41. Niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión para sustancias de olores ofensivos

Sustancia	Nivel máximo Permissible (µg/m ³)	Tiempo de exposición
Sulfuro de hidrógeno (H₂S)	7	24 horas
	30	1 hora
Azufre Total Reducido (TRS)	7	24 horas
	40	1 hora
Amoniaco (NH₃)	91	24 horas
	1400	1 hora

Fuente: Resolución 1541 de 2013.

Así mismo, se deberán tener en cuenta los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión de mezclas de sustancias de olores ofensivos de acuerdo con las actividades productivas de la zona.

5.4. MEDIDAS DE REDUCCIÓN

Con los resultados del diagnóstico de la calidad del aire en el área metropolitana de la jurisdicción de la CDMB, se proponen medidas y acciones orientadas a la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos, principalmente aquellas provenientes del material particulado y olores ofensivos.

Basados en el progreso y medidas establecidas en Planes de Gestión de la Calidad del Aire en otras regiones del país, se proponen medidas de reducción asociados a la reconversión tecnológica de equipos de combustión externa e inclusión de equipos de control de emisiones,

cabe destacar que dichas medidas se proyectan a mediano y largo plazo, dado que involucra una inversión económica importante por parte de las empresas.

Analizando la aplicabilidad de imponer estándares más estrictos a la emisión de material particulado total, en la Tabla 42 se detalla el porcentaje de reducción alcanzado y las emisiones evitadas tanto de MP, como de PM₁₀ y PM_{2.5}.

Tabla 42. Reducción de emisiones de material particulado para límites de 50 y 80 mg/m³.

Medida (mg/m ³)	Reducción (%)			Emisión evitada (ton/año)		
	MP	PM10	PM2.5	MP	PM10	PM2.5
50	24	34	33	76	55	33
80	15	22	21	49	35	21

Para el subsector industrial fueron evaluados límites de emisión de 80 y 50 • g/m³ para material particulado total, basado en el potencial técnico que pueden alcanzar el sector manufacturero. Para lo cual al estándar de 50 • g/m³ se alcanza una reducción del 24% para el MP que corresponde a una emisión evitada de 76 ton/año, que tiene asociado una reducción del 33% en emisiones de PM_{2.5}, mientras que para la medida de 80 mg/m³ se tiene una reducción entre el 15 y el 22% para la serie de material particulado.

Al aplicar un estándar de 50 • g/m³, se logra reducir en un 40% el impacto en calidad del aire para el MP y PM₁₀ en el municipio de Bucaramanga, mientras que en el caso del municipio de Girón las concentraciones máximas permanecen constantes, con una reducción del área de influencia de 21 km² a una de 13 km².

Como segunda medida de reducción en el subsector industrial se planteó la reconversión tecnológica, correspondiente a la automatización de equipos de combustión externa con combustible sólido, obteniendo reducción del 1.08% en emisión de MP y de 0.99% en NO_x, aporta una reducción significativa en las emisiones de CO, CH₄ y compuestos orgánicos volátiles no metánicos (NMVOC) del 33.4, 35.1 y 37.1% respectivamente.

Para los escenarios de reducción, teniendo en cuenta implementación de buenas prácticas en el sector avícola, tanto para el escenario de 90%, como de 75%, las concentraciones máximas que se podrían presentar podrían ser de 15 OUE/m³, en granjas específicas de la zona. Por fuera del perímetro de las granjas, las concentraciones de inmisión podrían encontrarse por debajo del límite máximo permisible en ambos escenarios. Esta notoria diferencia respecto al municipio de Lebrija por ejemplo, sería asociada a que en el territorio del municipio de Floridablanca no habría una densidad considerable en el número de granjas, y estas se concentrarían en la zona suroeste, lejos del área urbana del municipio, evitando así un mayor número de personas expuestas a concentraciones molestas de olor.

Para los escenarios de reducción, teniendo en cuenta implementación de buenas prácticas en el sector avícola, tanto para el escenario de 90%, como de 75%, las concentraciones máximas que se podrían presentar podrían ser de 15 OUE/m³, en granjas específicas de la zona. Por fuera

del perímetro de las granjas, las concentraciones de inmisión podrían encontrarse por debajo del límite máximo permisible en ambos escenarios. Esta notoria diferencia respecto al municipio de Lebrija por ejemplo, sería asociada a que en el territorio del municipio de Floridablanca no habría una densidad considerable en el número de granjas, y estas se concentrarían en la zona suroeste, lejos del área urbana del municipio, evitando así un mayor número de personas expuestas a concentraciones molestas de olor.

En ese sentido, se modelizaron dos escenarios con porcentajes de reducción del 75 y 90% debido a la implementación de prácticas que pueden influir en la reducción de los olores, tales como mejoras en los tiempos de recambio de viruta, mejor manejo de composteras, mejoras en la ventilación de áreas y espacios cerrados, etc. Teniendo en cuenta esto, las emisiones bajo un escenario de reducción del 75% tendrían como resultado un valor máximo de concentración de inmisión de 15 OUE/m³; esta concentración se daría en zonas más focalizadas al interior de cada uno de los predios de las granjas avícolas y por fuera de ellas, las concentraciones estarían por debajo de 7 OUE/m³. Bajo este escenario, si bien se presentaría un incumplimiento de la norma, ya que algunas zonas pobladas se encontrarían expuestas a concentraciones entre 5 y 7 OUE/m³, los impactos negativos se verían reducidos a pequeñas zonas pobladas, donde se podrían reforzar las acciones para la mitigación de dichos impactos y evitar las molestias asociadas a estas concentraciones.

Los diferentes modelos presentados con las respectivas reducciones tanto al 75% y al 90% muestran un acercamiento del posible comportamiento odorífero en las diferentes zonas de estudio, esto, puede ser posible, de acuerdo a las buenas prácticas y mejores técnicas que tengan cada una de las granjas, de allí, que pueda haber un compromiso sectorial de mejorar en estos ítems o recomendaciones para mejoramiento de la calidad del aire.

6. PLAN PARA LA ATENCIÓN DE EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE LA CDMB

Inmerso en el Plan de Gestión de la Calidad del Aire, se encuentra el establecimiento de medidas de corto plazo para atención de episodios de contaminación que se presenten en los municipios de Bucaramanga y su área metropolitana, con el fin de proteger la salud de los habitantes.

Por lo anterior, se generó el Documento “Plan para la atención de Episodios de Contaminación del Aire de la CDMB” en donde se establece un mecanismo de respuesta a los episodios de contaminación atmosférica, que permita reducir las altas concentraciones de contaminantes y su impacto en la salud poblacional.

Este plan se define siguiendo los lineamientos nacionales descritos en el Decreto 979 de 2006, Decreto 1076 de mayo de 2015 y la Resolución 2254 del 2017.

Este Plan de atención de episodios de contaminación atmosférica es un documento anexo al presente PGCA.

7. FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, como autoridad ambiental de los municipios de Bucaramanga y su área metropolitana, presenta una estructura organizacional tal y como se describió en el numeral 4.5 del presente documento.

Para la implementación del Plan de Gestión de la Calidad del Aire, se debe evidenciar un fortalecimiento institucional en términos de reforzar el talento humano disponible, tanto en cantidad como en capacitación, actualizar constantemente los equipos del SVCA, utilización de herramientas que permitan una efectiva gestión documental y seguimiento de expedientes, entre otros.

Como se mencionó, una de las principales medidas que se deben llevar a cabo en la entidad, es el fortalecimiento de su capacidad local en gestión de la calidad del aire, reforzando el equipo y así logrando un incremento en las acciones de control y vigilancia de fuentes fijas, fuentes móviles y olores ofensivos.

De igual forma, este equipo deberá ser complementado con profesionales altamente calificados, con experiencia en contaminación atmosférica y si es posible, con dedicación exclusiva a la gestión de la calidad del aire. Adicionalmente, se propone el desarrollo de un programa de capacitaciones técnicas que permitan que todos los profesionales estén actualizados en la materia de interés. De acuerdo con lo anterior, es importante identificar las capacidades y contrastarlas con las necesidades de fortalecimiento técnico que surgen con la implementación de un programa de gestión de la calidad del aire. Tal como se menciona anteriormente, y como quedó identificado por la mayoría de los actores que participaron en las mesas de trabajo para priorización y validación de medidas, es necesario desarrollar acciones para fortalecer las capacidades locales de la Entidad, principalmente enfocado a reforzar su actual equipo de gestión de la calidad del aire, de la mano con la importancia en el incremento de actividades de control, seguimiento y vigilancia de las principales fuentes de emisión del área metropolitana de Bucaramanga. Partiendo de estas mejoras, se avanzaría de manera considerable en el alcance de todos los lineamientos en gestión de la calidad del aire, así como en el cumplimiento de la normatividad ambiental.

A continuación, se presenta el esquema de profesionales en calidad del aire, resultante de la información recopilada para el Plan de Gestión de la Calidad del Aire.

Figura 107 Estructura SEYCA para gestión calidad del aire

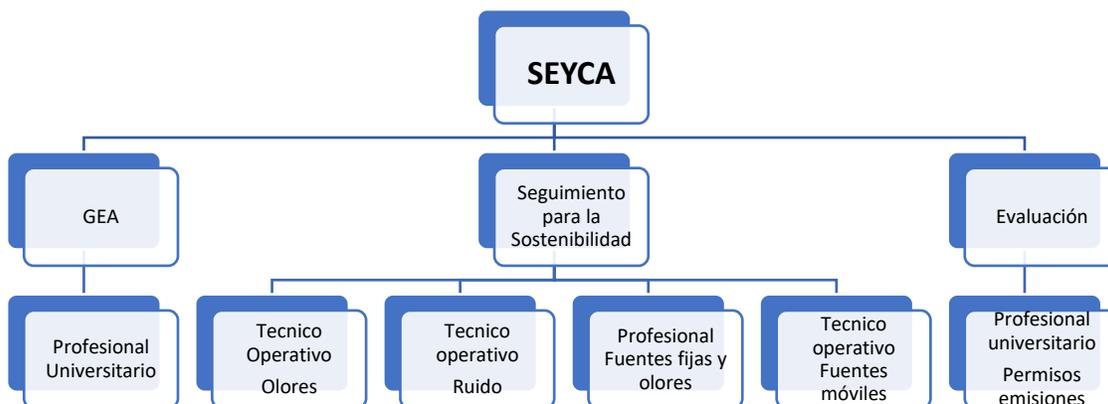
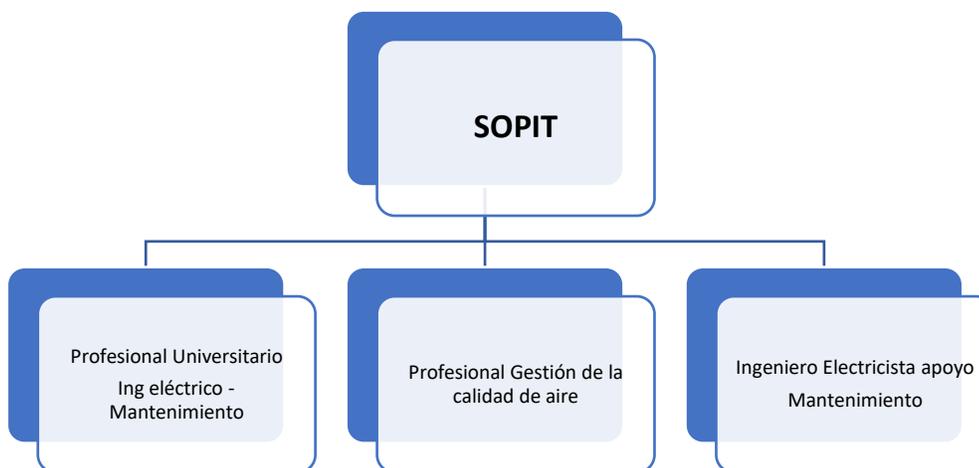


Figura 108 Estructura SOPIT para gestión de la calidad del aire



A partir de esta información, y teniendo en cuenta que el personal se encuentra adscrito a 2 Subdirecciones, se presenta una propuesta de conformación de un equipo enfocado exclusiva o prioritariamente en gestión de la calidad del aire. El propósito de esta estructura es, adicional al fortalecimiento técnico de la entidad, implementar una optimización en la gestión documental (expedientes, plataformas, manejo de datos en general), el cual se evidencia como un elemento o aspecto a mejorar.

Para la Gestión de la calidad del aire, se propone una estructura basada en: Líder de Calidad del Aire, Coordinadores (Seguimiento y Monitoreo, control y vigilancia de fuentes de emisión, Data Science) y profesionales de apoyo.

El líder de Calidad del Aire tendrá como principal objetivo el aseguramiento de la implementación de todos los programas que se planteen en la entidad respecto a la gestión de la

calidad del aire. De igual forma deberá presentar informes periódicos en donde se evidencien las actividades realizadas y los avances en la materia. El líder de calidad del aire será quien articule las Subdirecciones de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio con la Subdirección de Evaluación y Control Ambiental. Adicionalmente, garantizará la integración de los resultados provenientes de cada una de las divisiones de calidad del aire para el logro de objetivos y propondrá acciones y planes que considere necesarios para la generación de lineamientos por parte de la Autoridad Ambiental.

Los coordinadores serán los encargados directos de la implementación de medidas específicas en cada una de las divisiones, articulando los actores correspondientes y desarrollando estrategias específicas en su área de experticia. De igual forma, se encargarán de la generación de procedimientos estandarizados en la materia.

- Seguimiento y monitoreo:
 - 1 coordinador de calidad del aire
 - 1 Ingeniero de mantenimiento de equipos
 - 2 técnicos de apoyo a la ejecución del programa de mantenimiento de equipos
 - 1 Ingeniero para el manejo de datos

- Control y vigilancia de fuentes de emisión:
 - 1 Coordinador de fuentes móviles
 - 1 Profesional de apoyo para seguimiento de fuentes móviles
 - 2 técnico operativo fuentes móviles
 - 1 Coordinador de fuentes fijas y de área
 - 3 profesionales de apoyo para seguimiento de fuentes fijas y de área
 - 1 técnico operativo fuentes fijas
 - 1 Coordinador Manejo de Olores
 - 1 profesional de apoyo seguimiento olores
 - 1 técnico operativo olores

- Data Science y manejo de datos
 - 1 Coordinador de análisis de datos
 - 1 profesional de apoyo al manejo y análisis de datos.

Es de acotar, que los profesionales y técnicos propuestos deberán contar con experiencia en contaminación atmosférica y altamente capacitados en las funciones que se les asigne. De igual forma, se espera que el grupo de trabajo pueda tener continuidad en el cargo, con el fin de asegurar los procesos y garantizar su adecuada implementación a lo largo del tiempo.

Los resultados de la gestión de este grupo de trabajo serán el insumo para la toma de decisiones en la entidad, así como ajuste de las acciones implementadas en caso de ser necesario.

BIBLIOGRAFÍA

Coalición clima y aire limpio para reducir los contaminantes climáticos de corta vida – CCAC. (2014). Directrices y Reglas para la Incorporación de Socios, Actores e Implementadores – Compilación de Decisiones. <https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/%5BES%5D%20CCAC%20Directrices%20y%20Reglas.pdf>

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (CDMB). (2014). Plan de acción institucional 2020-2023.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (CDMB). (2014). Plan de gestión ambiental regional 2015-2031. (PGAR 2015-2031).

Decreto 979 de 2006. por el cual se modifican los artículos 7°, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995. Presidencia de la república de Colombia.

Departamento Nacional de Planeación – DNP. (2003). Política nacional de transporte urbano y masivo. (Documento CONPES 3260).

Departamento Nacional de Planeación – DNP. (2005). Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire. (Documento CONPES 3344)

Departamento Nacional de Planeación – DNP. (2008). Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia. (Documento CONPES 3510).

Departamento Nacional de Planeación – DNP. (2013). 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. (Documento CONPES 3759).

Departamento Nacional de Planeación – DNP. (2018). Política para el mejoramiento de la calidad del aire. (Documento CONPES 3943).

Congreso de la república de Colombia. Ley 1083 de 2006. por medio de la cual se establecen algunas normas sobre planeación urbana sostenible y se dictan otras disposiciones.

Congreso de la república de Colombia. Ley 1205 de 2008. Por medio del cual se mejora la calidad de vida a través de la calidad del diésel y se dictan otras disposiciones.

Congreso de la república de Colombia. Ley 1844 de 2017 por medio de la cual se aprueba el “Acuerdo de París”, adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París, Francia.

Congreso de la república de Colombia. Ley 1964 de 2019. Por medio de la cual se promueve el uso de vehículos. eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones.

Congreso de la república de Colombia. Ley 1972 de 2019. Por medio de la cual se establece la protección de los derechos a la salud y al medio ambiente sano estableciendo tendientes a la reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles y se dictan otras disposiciones.

Congreso de la república de Colombia. Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones.

Organización de las naciones unidas – ONU. (2015). Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) - <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1541 de 2013. Por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones.

Ministerio de Transporte. Resolución 20203040015885 de 2020. Por la cual se reglamentan los Planes de Movilidad Sostenible y Segura para los municipios, distritos y áreas metropolitanas y se dictan otras disposiciones. <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/9134/mintransporte-reglamenta-planes-de-movilidad-sostenible-y-segura-para-los-municipios-distritos-y-areas-metropolitanas/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 2087 de 2014. Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo, Control y Vigilancia de Olores Ofensivos.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 2254 de 2017. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.

Ministerios de minas y energía, de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Resolución 2604 de 2009. Por la cual se determinan los combustibles limpios teniendo como criterio fundamental el contenido de sus componentes, se reglamentan los límites máximos de emisión permisibles en prueba dinámica para los vehículos que se vinculen a la prestación del servicio público de transporte terrestre de pasajeros y para motocarros que se vinculen a la prestación del servicio público de transporte terrestre automotor mixto y se adoptan otras disposiciones.

Ministerio del medio ambiente. Resolución 623 de 1998. Por la cual se modifica parcialmente la resolución 898 de 1995 que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 627 de 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.

Ministerio del medio ambiente. Resolución 898 de 1995. Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 909 de 2008. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Resolución 910 de 2008. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las

fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. Modelo de la Gobernanza del Aire para Colombia, 2021.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, 2010.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007-2010. 2012.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia, 2019.

Organización Mundial de la Salud. Miles de millones de personas siguen respirando aire insalubre: nuevos datos de la OMS, 2022. <https://www.who.int/es/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>.

Organización Mundial de la Salud. Directrices sobre la calidad del aire, 2021.

Ministerio de Salud y Protección Social, Organización Panamericana de la Salud. Modelo de Fuerzas Motrices en el marco de la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. 2014.

ONU Hábitat y AMB. Plan Integral de Desarrollo Metropolitano 2016-2026 "Dime Tu Plan".

ONU Programa para el Medio Ambiente. Serie sobre la contaminación atmosférica "Acciones sobre la calidad del Aire, un resumen global de políticas y programas para la reducción de la contaminación atmosférica", 2021.

Centro de Derechos Humanos UDP. Informe Anual sobre Derechos Humanos en Chile 2019, Estado de la información sobre calidad de aire en Chile, 2019.

Ministerio del Medio Ambiente (Chile). Plan de Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana de Santiago de Chile. Aire Región Metropolitana. <https://airerm.mma.gob.cl/>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México). Guía para la Elaboración de los Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire), 2015.

Matus C. Patricia, Lucero CH. Rodrigo. Norma Primaria de calidad del Aire, 2002. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482002000200006.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Proyecciones de Población con base en los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV-2018. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Calidad del Aire. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/#>.

Organización de las Naciones Unidas – ONU. Cambios demográficos. <https://www.un.org/es/un75/shifting-demographics>.

Gobierno del Estado de México. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020.

Bucaramanga Metropolitana Cómo vamos. Informe de calidad de vida 2021.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá; Clean Air Institute. Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá – PIGECA 2017-2030.

Secretaría de Ambiente – Alcaldía Mayor de Bogotá. Plan estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá 2030. 2021.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga; K2 Ingeniería. Informe de Consolidación de Quejas por Olores Ofensivos en el área metropolitana de Bucaramanga, 2021.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga; K2 Ingeniería. Rediseño del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) de la CDMB en Bucaramanga y su área metropolitana. 2021.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga; K2 Ingeniería. Informe del Diseño del Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire por olores ofensivos en el municipio de Bucaramanga. 2021.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire – Manual para la elaboración de planes de gestión de la calidad del aire. 2008.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Estrategia Nacional de Calidad del Aire. 2019.